WHY INFORMATION GROWS

The Evolution of Order, from Atoms to Economies

增长的本质

秩序的进化，从原子到经济

［美］ 塞萨尔·伊达尔戈◎著

浮木译社◎译

被誉为“21世纪经济增长理论的重要里程碑”

开创了用物理学、社会学研究经济学的先河

颠覆了经济发展和财富起源的传统假设



中信出版集团 · CHINACITICPRESS

版权信息

书名:增长的本质：秩序的进化，从原子到经济

作者:[美]塞萨尔·伊达尔戈

译者:浮木译社

ISBN:978–7–5086–5482–9

中信出版集团制作发行

*

宇宙由能量、物质和信息三个元素构成，但真正令宇宙奥秘无穷的是信息这一元素。若是没了信息这一元素的话，宇宙将会成为是一个没有固定形状的汤。它会没有形状、没有骨架、没有非周期顺序，也没有不规则的排列布局，宇宙将不再像现在这般奥妙。

——塞萨尔·伊达尔戈

*

献给伊丽丝（Iris）、安娜（Anna）和姆瑞杜（Mridu）

序言
永恒的战争

宇宙由能量、物质和信息三个元素构成，但真正令宇宙奥秘无穷的是信息这一元素。若是没了信息这一元素的话，宇宙将会成为一个没有固定形状的汤。它会没有形状、没有骨架、没有非周期顺序，也没有不规则的排列布局，宇宙将不再像现在这般奥妙。

但是信息并非大量存在。正如熵增原理说的，当宇宙进行着那永恒的通向更加无序、混沌之战时，这些信息隐藏在角落反抗着。本书主要关注信息量的增长，以及使信息与无序、混沌抗争并增长的原理。书中讲述的原理包括了信息出现的自然原理，也包括了社会中信息量加速增长的社会经济原理。本书讲述了信息增长——物理秩序的增长，正是这一增长使得我们星球，从原子体系到经济体系，都如此独特、如此丰富而多变。

这本书大部分侧重于我们的星球和我们人类，这是因为从宇宙宏观角度来说，我们的星球很特别。虽然我们知道，宇宙中有许多比地球质量、能量都更大的星球存在，但没有任何一个星球比地球拥有更多的信息量了。中子星密度之大，一勺子体积大小的它就要比整个纽约帝国大厦还要重。黑洞质量如此之重，以至于把空间结构都扭曲了。位于银河系的这几十亿星星，能量也是极其丰富的，不过，我们的星球倒没有特别多的能量。总之，我们星球特别之处，并非在于拥有极大的质量或能量，而在于拥有极大的物理秩序，或者说，信息量。我们星球跟信息的关系，就像是黑洞跟质量的关系、星星和能量的关系。不同于宇宙其他星球信息量的贫瘠，我们的星球是信息聚集、生长和藏匿的地方。

可是，信息到底从何而来呢？为什么信息会聚集在我们的星球，星球上的生命又是怎样促进着信息量的增长呢？使社会中信息量增长的社会经济原理又是怎么样的呢？促使信息量增长的原理又在怎样地影响着全球经济体的社会经济上的不均分配呢？

在接下来的章节中，我们将会了解到信息是什么，它从哪儿来，以及它为什么会增长。我们将会了解帮助信息这一元素反抗趋向更加无序、混沌的宇宙的自然原理、社会原理和经济原理。我们将会了解到那些原理，帮助信息坚忍地赢得宇宙中唯一的、真正的战争的胜利：一场有序与无序之战，熵与信息之战。

前言
从原子到人类再到经济体

路德维希是一个不幸的人。是他儿子的死把他逼上了绝路，还是他再也无法承受同事的非难，抑或是他对原子太过着迷?

在度暑假时，路德维希自杀了。是他最小的女儿埃尔莎，发现了他悬挂的尸体。这段记忆成为她余生讳莫如深的话题。

当然啦，我说的这个路德维希是路德维希·玻尔兹曼。路德维希是一个很成功的科学家，同时也是一个非常没有安全感的人。他对我们如今理解的自然万物做出了很大的贡献，但是，他的科学贡献却经受过不少质疑和挑战。

路德维希相信原子理论，那时他许多同事认为原子只不过是一个恰当的类比。他们的怀疑态度使他很困扰。他知道自己的理论方向是对的。他证明了根据经验得出的特性可以归到分子或原子集体运动的类别里。这些发现都给他提供了间接证明原子存在的证据，只是无法直接观测。

由于缺少直接证据，路德维希饱受同事的批判。他的劲敌，物理学家兼哲学家恩斯特·马赫，认为真正的科学应该只专注于能被直接观测到的定量之间的关系，而其他像玻尔兹曼原子理论这样的理论概念是不应被认可的。

然而，路德维希面对的不仅是舆论非难。他连续几十年试图诠释物质秩序的根源。他的这一尝试即便收获颇丰，也算不上成功。路德维希的理论所预见的结果和他想证明的相左。日常生活经验告诉他，

身边万物的秩序都是呈上升趋势的：花朵绽放、树木发芽，以及迅速工业化的社会每天批量生产新产品。可他的理论却暗示了万物的秩序不仅不会增长，反而还会消失。它解释了为何热量会从热变冷、为何奶精会消失在咖啡中、为何小声说话的声音会被一阵风淹没。路德维希证明了宇宙的微观结构在侵蚀着秩序，让一切变得瞬息短暂。但他深知这并不是一切的答案，他知道自己还没有搞明白信息长存的原理到底是什么。

万物的秩序增长一直困扰着路德维希，这种困扰他的程度只有身为科学家的人才能切身理解。他知道自己的理论还差一点儿什么，但是他无法得知那究竟是什么。在日薄西山之时，他变得疲于与身边人、自然法则争辩了。于是他用一根绳子，亲手结束了一切。而剩下的那具尸体则开始了缓缓腐朽衰亡，正如他的理论对原子外壳的描述一样。

***

1906年，结束了路德维希性命的不是困扰他的哲学问题，而是他自己。为了解释物质秩序的根源，路德维希联系了原子和气体为主的在不同空间尺度下显现的性质和现象。[1]虽然这个理论在今天被广泛认可，但在路德维希的那个年代，跨越空间尺度的研究违背了科学家们之间不成文的规定。路德维希的很多同事都认为科学像是俄罗斯套娃，每一层都会有新的结构出现。在这种层级体系中，跨越空间尺度自然就被视为多余了。经济学不需要心理学，正如心理学不需要生物学。生物学不需要化学，同样化学也不需要物理学。虽然用原子来解释气体比不上用生物学来解释人类行为那么荒谬，但它也被当作对默认逻辑的背叛。而玻尔兹曼就犯了企图用原子的运动来解释气体宏观性质的“罪过”。

***

20世纪的科学已经完全证明了路德维希对于原子的观点是正确的，也在一定程度上证明了他在跨学科领域的热情。量子力学把路德维希的原子理论跟化学和材料学联系起来；分子生物学、生物化学又把细胞学与构成细胞的蛋白质的化学性质联系起来。同样，当达尔文的学说已经成为解释人类行为的主要理论后，生物学和心理学也产生了微妙的关系。[2] 然而，并非所有的学科交叉都发生在已知的科学边界附近。在这多学科互动的探戈舞中，有一个概念十分奥妙难以捉摸，这个概念就是信息。

信息就是那个让路德维希着魔的东西。正是它令他一直疑惑不解，也令他不知疲倦地一直寻找着解释：为什么秩序在地球上日益建立、成长，在宇宙中却不断恶化呢?

20世纪，信息在持续地发展与成长，学界也努力试图理解这些信息的含义。然而，这一时期，促进并且激发信息研究的并非在于信息其本质的魅力，而在于人们对战争的恐惧。在第二次世界大战期间，敌对的军队产生了使用密码交流的需求。这些密码的存在促使人们想方设法去破译截获的消息，进而带动了对信息的数学研究。

编译、破译电报实在是一道极其令人着迷的数学题，即使战火减小，人们仍不舍得将其丢置一旁。数学家们继续将信息理念化，但他们已致力于将这些理念放在交流技术这一大背景下，而不再局限于破译截获的电报。取得成就的数学家们便成为世界上第一批信息理论家或者控制论家，为人们所熟知。这批先驱包括克劳德·香农、沃伦·韦弗、艾伦·图灵和诺伯特·维纳。

在20世纪五六十年代，信息的概念如旋风般席卷了科学界。信息，作为一个强力击穿了学科之间边界的观念，在所有学术领域中都受到了欢迎。信息既非微观的，亦非宏观的。[3] 它既可以被稀稀拉拉地刻在泥板子上，又能被密密集集地塞在一段DNA里。从大多实际情

况来说，传递信息的载体其实并不重要。这种超然于载体之外的性质使得信息这一概念对于所有学术领域来说都极富吸引力。这些领域渐渐地吸收了信息的观念，并使它具有了自身学科的味道。

生物学家在探索基因如何编码遗传信息时，接纳了信息的概念。在香农著作的启发下，工程师们在用模拟数字网络连接起世界时，设计出了发射器与接收器。计算机学家、心理学家和语言学家都尝试过用建造具有思维能力的电子机器的方法，来模拟人的心理活动。当20世纪蓬勃发展出其原子化的时代精神时，信息也成为每个人手中的新王牌。

信息的概念在社会科学方面都找到了自己的路，特别是在经济学上。奥地利经济学家、与香农同时代的弗里德里希·哈耶克曾有这样一个广为人知的说法，他说，价格传递了商品供给和需求的信息。这个观点指出了斯密的那只“看不见的手”运作方式的信息。正如哈耶克写道：“在一个相关事实的知识会在大范围人群中传播的体系中，价格可以作用于定位不同人群各自的行为。”[4]

信息的概念也帮助经济学家更好地理解了一些严重的市场失灵。乔治·阿克洛夫就是由于展示了“当人们对其想交易物品的质量有了不对称信息时，市场就会难以运转”这一观点而声名远扬的。[5]与此类似，在经济、组织学理论和人工智能方面均有贡献的博学家司马贺曾经提出过一个有限理性的概念。这个概念强调了对世界上的信息掌握不全的经济个体的行为。

随着20世纪还在持续地喧嚣猛进，信息的概念已经占据了全球性的重要地位，但在信息这一概念越来越流行的同时，我们慢慢地开始忘了信息的物质性这个困扰玻尔兹曼多年的东西。“信息”这一词逐渐变成了虚渺的、非物质的、数字的、无重的、无形的一类东西的同义词。但是，信息是物质性的。它有着如同玻尔兹曼的原子或者原子在

运动中所携带的能量一样的物质性，不是固体或者液体。它也没有自己的粒子，但是像同样也没有自己的粒子的运动和温度一样具有物质性。信息是无实体的，但是它能被物理性地表达呈现出来。信息不是一件事物，而是多个物理事物的组合。它是“物理秩序”，就如同你洗同一副牌，决定你每次洗出来的都不一样的那个东西。然而，即使信息的无意义本质如同它的物质性一样经常被误解，但对于大多数人来说最吃惊的还是，信息是无意义的。

***

1949年，克劳德·香农和沃伦·韦弗出版了一本简短的名为《通信》的数学理论的书。在其第一章里，韦弗描述了一些关于信息的概念性的东西。在第二章里，香农从数学的角度描述了我们现在所知的信息理论。

为了让人们更好地理解信息理论，香农和韦弗需要将“信息”一词从其通俗的语义中抽离出来。韦弗早期在其论文中便做出了区分：“在这个理论中，‘信息’一词用于一种特殊的意义，不能和它的常规用法相混，尤其一定不能将信息与含义搞混。”[6]

香农也早在他的学术文章中提出了这一点，不过那是在讲工程参数而非语义区别的：“通信中的基本问题是在一个点上完全或者近似地复制一段在另一个点上节选的消息。通常，这些消息都有着含义……这些有关通信的语义上的东西（指消息的含义）和工程问题无关。”[7]

但是为什么香农和韦弗这么急切地想把信息和含义区分开呢？他们区分信息和含义这两个词是有着技术和哲学两方面原因的。从技术角度来讲，香农热衷于构建不管消息的意义是什么都能有助于交流信息的机器。从哲学角度来讲，香农和韦弗都明白，在其使用“信息”和“含义”的过程中，它们所指的是完全不同的两个概念。人类和一

些机器有着解读消息并注入含义的能力，但游走于电缆和电磁波中的并不是我们所说的那个含义，那是更简单的存在，那只是信息而已。

对于我们人类来说，将信息和含义区分开来是很难的，因为我们会情不自禁地解读信息。我们不自觉地在消息中注入了含义，自愚地相信消息的含义就载于消息中。但事实并非如此，这只是一个假象。含义来源于信息的背景和我们以前积累的知识。含义只是譬如人类这样的知识媒介对消息的一种解读，但是它和承载着消息的物理秩序是不同的，和消息本身也不同。当一个消息到达了一个生命体或是一个有着处理信息能力的机器时，含义才浮现出来；它并不承载于传输信息的墨迹、声波、光束或电脉冲中。

让我们联想一下“9·11”这个敏感的字眼。当我提到它时，绝大部分美国人都会自动联想到2001年的双子塔袭击案；智利人则会想起1973年发生的那场政变。但实际上，当我说到“9·11”的时候，我可能只是告诉我的学生我会在那一天回到麻省理工学院。显而易见，我们可以自行给定一条信息的意思。然而，一条信息所表达的意思并不是它本身的一部分，尽管看上去如此。信息的意义是我们自己在诠释消息时，让它与信息本身天衣无缝地贴合在了一起：因为人类不受控制地会想要去翻译每一条涌来的物理讯息。但这种完美无缺的贴合并不代表含义和信息是同一回事。

如果香农想要创造一个忽略背后隐喻直接翻译一条信息的机器，他需要一个能够计算翻译出一条给定信息所需要的最少字符的计算机。得益于哈利·奈奎斯特和拉尔夫·哈特利的研究，香农估算出需要多少信息才能将一条消息以毫无干扰或者受到一些干扰的方式传递出去。他还通过计算消息中结构的相关性得出了交流沟通的经济原理，比如在英语中，字母t更常出现在字母h之前，而不是字母q之前。由此，香农慢慢脱离了哲学的轨道，更加倾向于玻尔兹曼所反复推敲的数学大道。在这条道路的尽头，香农找到了一个能够以最大效益翻译

随机消息的基本公式。这个公式让人们能够理解任何信息，无论是在磁盘、电磁波，还是在墨水和白纸上。而实际上，香农所找到的公式与50年前玻尔兹曼所得出的结论一样。[8]这并非偶然。

***

香农的公式和玻尔兹曼对于信息的物理本质的理解完美统一。信息的物理本质主要是为了凸显出我们如何通过研究原子结构更好地理解经济。在极大程度上，自然物理侧重于详细地描绘我们整个宇宙，从原子到人类，将原子的单一性和生命的多样性联系起来。[注] 而社会科学则侧重于研究人类、社会和经济之间的联系，把人作为一个基本单位——就如同一个社会原子，抑或是经济原子，如果我可以这样说的话。然而，这种将自然科学和社会科学分开谈论的方式存在弊端，尤其是当我们考虑到促使信息增长的机制其实跨越了无生命与有生命、生命体与社会、社会与经济之间的所有界限。

所以，在接下来的篇幅中，我将会尽我所能，从原子到经济——并不是以往所做的，从原子到人类，或者从人类到社会——对这种导致信息增长的机制进行剖析。接下来的内容会帮助我们融合所有那些有利于信息增长同时又限制我们信息处理能力的因素，比如物理、生物、社会和经济。其中，信息处理能力包括了计算，以人类的角度来说，也需要知识和技术这类的“软件”设施。这本书将会讲述整个宇宙的历史，但并不是按照时间的发展，而是按照多样性的发展。

其实，正是这种多样性的发展——换言之，信息的增长——标志着我们宇宙和物种的历史。十几亿年前的大爆炸后不久，宇宙还并没有产生那令玻尔兹曼惊叹不已而我们奉之为公理的宇宙秩序。在那之后，正如玻尔兹曼所提出的那样，宇宙向混沌大步行进，但与此同时，却也在创造各种各样的“口袋”来积攒大量的物理秩序，即信息。我们的行星地球就好比宇宙的其中一只小口袋。

在我们的银河系中，正是那些从各个恒星辐射而来的、同时能够传导信息的光波促使了原子的合成聚变，其中包括碳、氧、钙、氮和铁这些对于生命构成所必不可少的原子，因而才有了生命的起源。新一代的恒星则在它们先祖辐射殆尽的遗骸中得到重生。在这段时期内，如果有任何行星绕着这些恒星旋转的话，行星上的化学元素的丰度(注)正好能够完成一次生命的进化。而我们所在的地球，在经过了40亿~50亿年的演变之后，逐渐从复杂和波动走向统一和平静。几十亿年来，在地球上，从化学元素到简单的生命体，现如今到人类本身，信息不断地累积和增长着。在整个宇宙绝大部分空间都看起来是十分“荒芜”的情况下，我们的行星却是一个信息、知识和技术不断累加积攒的绿洲，这一部分归功于太阳的能量辐射，而其中更重要的是生命这种能够实现自我强化和推动自我强化的机制。

在行星从单纯的物质演变出能够主导整颗星球的生命体这个看似平稳的发展中，我们却能够在多样性和信息演变的时间轴上发现两处明显的时间节点。实际上，信息的演变能够跨越所有的界限，甚至涵盖了在经济和社会中产生的信息。如果从广义上将信息解释为物理性次序，那它正是我们的经济社会的生成之物，也是我们无论作为一种生物还是生产机器所唯一产生的事物。信息与消息不同：信息存在于我们所出产和构造的一切物体中，比如自行车、建筑物、街灯、搅拌机、吹风机、鞋、枝形吊灯、收割机甚至是内衣，这不是因为它们是通过人类的思考而创造出来的，而是因为这些物体本身所体现的物理秩序。我们所处的世界充满了信息：这不是指毫无定性的原子汤，而是说所有结构、形状、色彩和联系这些整齐划一的集合体。所有有序的结构都是信息的具象化表现，尽管这些信息中体现的很多物理秩序毫无意义。

不过生产信息并不是一件容易的事：我们的宇宙为此费尽气力。如果我们想要生产信息、生产物块、构造基础设施和那些与社会繁荣息息相关的机构，我们就必须要和宇宙混乱的本质和困扰玻尔兹曼的

熵相抗衡。为了赢得与混乱本质之战，我们的宇宙相应地演化出许多计囊，包括非平衡系统、固态的信息累积和物质自身的计算能力。这三种机制一起相互作用，使得信息能够在一个岛屿甚至是人们的上衣口袋中增长或者隐匿不见，就像在我们自身和整个行星上所能做到的一样。

这样说来，从宇宙的起源到我们的现代经济，这包含了物理、生物、社会和经济学的“增长率”其实是指信息的累积和我们对于信息的处理能力。信息的增长统一了生活和经济的增长，多样化和财富的产生。

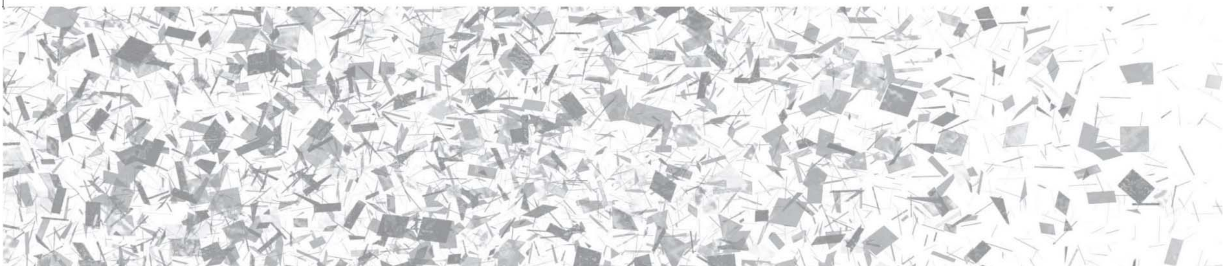
但是信息的增长在各处却并不是完全一样的，无论是从宏观宇宙的角度，还是单单以我们这个星球而论。在人们的口袋中，通过产生和储存，信息得以实现增长。而那些城镇、公司和团队正是小小“口袋”的更具体表现：同样以生成信息和不断累加的方式实现信息的增长。当然，这些城镇、公司和团队生产信息的能力是不尽相同的，其中一些真是能够具象化许多科幻小说中的信息元素，而其他则尚欠火候。

所以，当追寻什么是“信息”、为什么它会“增长”这样的问题的答案时，我们探讨的不仅是物理秩序的进化史，我们也在探讨经济规律。我们会将基本的物理定论和一些信息理论相结合，也会提到诸如社会资本、社会经济学、知识论、工业多元化的经验主义和经济发展。当要回答“为什么信息会增长”这类问题时，我们所要思考的是繁荣的演变、发达国家还是贫穷地区、生产高效还是生产力低下，以及专业机构对于我们累积信息这种能力的影响，甚至是去解释是什么样的机制限制了我们生产信息的能力。我们也会向后退一小步，站在传统观点的角度上来理解一些社会和经济现象。然而，我们也会尝试着将物理、生物、社会和经济体制整合到一起来进行描述，进而试图解释一个并不能够称之为“实际物质”的东西的不断增长。这个让我，让

你，让玻尔兹曼神魂颠倒的物质，就是我们所说的物理秩序，也就是信息。我们着眼所及，都异常复杂而多样，但这并不是因为信息在宇宙中无处不在，而是因为我们从信息中衍生而来，而我们同时生产着大量的信息。

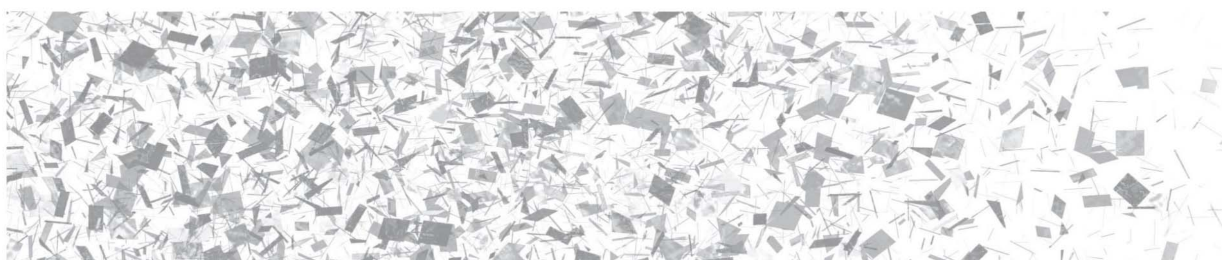
---

1. 显而易见的特例有地质学和天文学。
2. 丰度是指一种元素的某种同位素所占的原子个数百分比。——编者注



WHY
INFORMATION
GROWS

第一部分
原子中的比特



第一章
时空旅行的奥秘

等待女儿出生时，我坐在一张不太舒服的椅子上。妻子安娜和我周六下午6点半就到了马萨诸塞州综合医院。我们在家里等着她的宫缩，当她的宫缩间隔时间变短时我们决定去医院。她的宫缩在待产时更剧烈了，不过稍后的硬膜麻醉使她感觉不到疼痛，得到了难得的休息。现在是深夜两点。这是个宁静的夜晚，我们唯一听见的声响就是她的血压监视器不时加压时发出的噪声。房间被几个显示屏光亮和查尔斯河反射的街灯灯光照亮着，在那昏暗的光亮中，我唯一能看见的就是安娜躺在床上安静地休息。我握住她的手，坐在扶手椅里等着我们女儿的出生，就像我之前提及的那样，惴惴不安。

凌晨3点钟，护士告诉我们安娜可以开始用力了。她的宫口完全张开了，而我们的女儿伊丽丝正要经历她一生中最重要的一次旅行。只用了26分钟，安娜就将我们的女儿带到了那个负责接生的紧张又专注的医学院学生手中。26分钟，对接生这个过程来说听起来很短，也确实很短。然而，我在想的却是，伊丽丝那晚的旅行，不是从产道里滑出的26分钟，而是一段从遥远的过去通往陌生的未来的千百年的旅程。在26分钟里，伊丽丝从她母亲的子宫——这个最原始的育儿之地——来到了这个摩登的21世纪。生育，从本质上来说，是一次时间旅行。

那天晚上，除了些许声响外，伊丽丝经历了一个和数十万年前的婴儿所经历的没有差别的世界。当她在母亲的子宫里孕育生长时，大多时候只听到了父母的声音，并不知道她所处的摩登世界的纷扰繁杂。那种无知在那天晚上被改变了。

凌晨3点26分，伊丽丝出生在一个被荧光灯和白炽光灯而非太阳光所照射的房间里。焦急等待着她平安降生喜讯的祖父母在第一时间从邮件里看到了她的小脸儿。产房里充盈着的音乐不是鸟语或是树叶簌簌声，而是计算机的算法筛选出的音乐。伊丽丝那天晚上的旅行只有几英寸长，持续短短的二十几分钟，但从更深层的意义来说，那是一个长得多的旅程。那天晚上，她从遥远的过去来到了这个真正迷人的现在。

尽管伊丽丝的旅程对我来说十分特别，但她经历这场时间旅行的方式却并不特别。对大部分婴儿来说，出生在21世纪是独特的体验，21世纪是一个与我们先祖被孕育出来的地方很不同的所在。这是个由我们祖先曾经构想，却无法构造的东西所搭建的现实的世界。伊丽丝诞生的那个产房到处都是可触碰的物体，但那些物体本身，并不是她感觉这个世界无比新奇和现代的理由。伊丽丝出生的世界和早期人类居住的世界的不同之处，并不在于其物质性，而在于这些物质是如何排列的——这些物质排列的秩序就是信息。伊丽丝能够在晚上出生不仅借助了物体的存在，还托了蕴含在那些物体中的信息和人类对于这些信息的利用的福：她出生时不仅是被灯泡照亮，还被对电、能量、灯泡中的物质的理解照亮；那晚裹着伊丽丝的并不是一团杂乱无章的纤维，而是将物质、知识和想象编织在一起的毯子。矛盾之处在于，伊丽丝出生在一个尽管可触摸，却是由想象组成的非虚构的世界。这个世界和我们祖先进化的那个世界的唯一不同就是物质排列的方式。

物体是信息和想象力的具象化这个事实看上去显而易见。信息是自然的一个重要组成部分，也是自然中与生活一起成长的一部分，但信息比生活的起源还要早。想想那些包含很多信息的单位体（比如DNA和RNA）的复制，它们的复制并不单纯是物质的复制，而是物质中蕴含的信息的复制。生命体是高度有组织地处理和生产信息的结构。然而，在这里我们关注的并不是细胞相互作用而产生的那些信息，而是那些随着人类和社会出现而产生的信息。人类在信息处理方

面是非常特殊的动物，不同于其他物种，人类演化出了能够编译我们身体外部信息的能力。我们可以简单地将那些信息理解为我们从书籍、乐谱、录音和录像中可以解读的信息。然而，实际上早在可以写字之前，我们就发展出了将信息赋予物品中的能力，无论是箭还是微波炉烤箱，无论是石斧还是网络。因此，我们制造椅子、电脑、桌布和酒杯的能力就是探寻“人类和其他物种有什么不同”这个亘古难题的最简单的答案。具体来说，我们可以将想象中的物体实体化，但其他物种还被困于自然的造物中。[1]

接下来，我会描述用来解释这个世界信息增长的物理、社会和经济机制。正是这些机制，让伊丽丝诞生的目的地变得奇妙又真实。此外，我们还会学习信息的物质性，这将会解释什么是信息以及什么是生产信息的物理机制。然而，信息的物质性只能解释最基本的物理秩序，要了解覆盖整个现代社会的普遍规律，我们需要越过物理的高墙，探索促使人群生产信息的社会和经济的进程。这些进程涉及社会和职业网络的形成——正是在这一网络形成的过程中，人类对于知识进行不断的积累和实践，最终建立起了在社会中处理信息的能力。

知识和技术是与信息计算相关联的两项基本要素，它们对于经济与社会知识的积累都十分重要。然而，知识和技术并不一样，简单来说，知识包含了实体与实体之间的关联，我们通过这些关联来对事物相互作用的结果做一个预判。[2]比如说，我们知道吸烟会增加患癌症的风险，所以我们利用这层关联来预测吸烟的后果，而无须亲身试验。

技术和知识有点不同，因为它关系到不言而喻的行为能力。[3]比方说，我们大部分人会走路，尽管我们不知道我们是如何完成走路这项行为的；大部分人都知道如何分辨、识别和说明图片中的物体，尽管我们并不知道我们是如何成功完成这些感知和语言行为的；大部分人都知道如何从不同的角度识别物体、辨别面容、消化食物、甄别情感，尽管我们不能解释这都是如何做到的。我们能够做到这些，是因

为我们有技术。技术是无法言明的分析计算能力，这种能力在个人和集体层面上都在不断累积；正是因为技术，我们才能够有所行为。

“技术无法通过语言来描述”这一特质似乎令人难以接受，因为它让我们看起来像机器一样，察觉不到自己在做什么。但这其实并没有什么好奇怪的，就像人工智能之父马文·明斯基所说的那样：“电脑被制造出来之后从未曾明白过自己在做什么；实际上，在大多数时候，我们也是一样。”[4]

我早前也曾提到过另两者之间的区别——作为物质本身的信息和被物质所携带的信息，比如我们在短信中传递的信息。用汽车作为例子，我可以告诉你，我的车是红色的，1.6升引擎，6速手动变速箱。这是关于我的汽车的所有信息，但这并不能告诉你我的车是什么。在接下来的章节中我们会学习到，我的车并不是由那些物质所携带的信息而组成的，而是由物理秩序，也就是信息本身组成的。

以下大多数情况我将会用信息这个词来指代物理秩序，比如蕴含在物体中的“信息”；在接下来几章，我会详细阐述这个定义。这个定义帮助我构造了一个关于信息增长的简单理论——无论其是否有意义，物理秩序与宇宙的计算能力共同演化。在社会和经济的语境中，这种分析计算能力和技术与知识都有关。

所以，为了解释信息在自然和社会中的增长，我们需要探索物理秩序的演变，以及知识和经济是如何共同作用于物理秩序的生成的。我们将从信息可以自发生成的最简单的物理系统开始研究，一直探究到复杂社会，在其中信息需要知识技术才能够持续积累和增长。

在我们所要探究的内容中，社会和经济的情况是最为复杂的，因为其中知识技术的累积被高度限制了。和信息一样，知识技术总是需要被一个实体所携带；不同的是，知识技术体现在人和人的社交网络，因此是有一个固定容量的。正是因为其有限性限制了我们积累和

传递知识技术，进而导致了受空间限制的知识技术累积，间接造成了全球不平等。由此可见，信息和技术必须被人类和人的社交网络所携带这一点，可以成为世界不平等的一个原因。在第三和第四部分，我还会提到这些要点，并以不同地区的人们制造出的产品为例做出解释——产品是由信息构成的，正是知识技术在不同地区的表达方式。

所以，我用来描述地球上信息增长的中间角色，包括物体（作为信息的具象化）和人类（作为知识技术的具象化）。从这个重要的角度来看，我们可以把经济描述为人们积累知识技术来创造产品的系统，同时提高了我们容纳更多知识技术的可行性，进而积累更多信息。首先，我们将会创建一个用物理秩序来解释产品的理论；然后，解释社会和经济中使我们能够积累知识技术并以此创造产品的机制；这些之后，我们将会更多地关注到经济中的信息、知识和技术的增长。

但在此之前，我需要明确我们对于信息的基本物理性质和其隐蔽的起源的理解是一致的。我会从数学和物理层面解释什么是信息，进而帮助我们理解玻尔兹曼和香农为何会得到同一个公式；同样的，我们也会学习到那些让信息增长的基本物理定律。

第二章
无意义的实体

假如我们须把如下事物进行分类：位移、质量、电力、熵、美、和谐之音。我认为，把熵和美、和谐之音放在一起再合适不过了。只有宏观众多细节之和才可以感受到熵的存在，而且正是在观察、聆听众多细节之和时，我们才会感受到美与和谐之音。

——亚瑟·爱丁顿

为了发明创造,你需要绝佳的想象力和无数次的失败。

——托马斯·爱迪生

几个月之前, 一份智利报纸的商业版头条吸引了我的注意力。这篇文章讲的是一个智利人买了一辆世界上最贵的汽车：一辆标价超过250万美元的布加迪威龙。这笔惹人注目的消费是我所见过最炫富的行为之一。

通过快捷的网络搜索，我估算了一下这辆车每公斤大概值1 300美元（或者每磅 (注)600美元）。[1]为了切实体会一下这辆车的价值，我们来把它每公斤的价格和黄金白银做个对比。根据当日价格，每公斤白银值1 000美元而每公斤黄金大约值50 000美元。[2]作为对比，一辆普通的现代汽车每公斤价值在10美元左右，一辆顶级的M6宝马汽车每公斤价值在60美元左右。可见，即使布加迪威龙没有黄金昂贵，但是却远远超过了白银的价格，而一辆现代汽车的价格至少和铜相当。

现在，你可能会辩解说，将每公斤布加迪威龙的价格和每公斤白银的价格相比较完全是无稽之谈，因为如果我们拿着实实在在的一公斤布加迪威龙，什么都做不了。然而，这“无稽之谈”却教会了我们理解将物理秩序（或者说信息）构成一个产品所带来的价值。

想象一下，你买彩票中了一辆布加迪威龙。于是你万分激动地决定开着你的新车去兜风，但是因为过于激动，你开着布加迪威龙撞到了墙上。尽管你自身毫发未伤，但由于没有车险，布加迪威龙完全变成了一堆废铁。现在再来看看，一公斤的布加迪威龙值多少钱?

答案很显然，作为一辆汽车，它的价值在撞上墙的一刹那就灰飞烟灭，但它的重量没有改变。那么，为什么车的价值会消散呢？原因并不是车祸破坏了汽车部件的原子结构，而是破坏了部件的排列顺序。随着各个零件分崩离析，布加迪威龙也失去了本身的模样，其中包含的信息在很大程度上都被摧毁了。因而我们说，布加迪威龙250万美元的价值在于零件的组合方式，而不是零件本身。[3]这些组合方式就是信息。[4]

布加迪威龙的价值与它的物理秩序——也就是它自身所携带的信息——相结合，尽管人们一直在争论信息到底是什么。[5]根据信息论之父克劳德·香农所说，信息是交流中想要传递特殊消息所需的最小单位。换言之，就是表达一种排列方式所需的最小内存，比如布加迪威龙中原子的排列方式。

为了更准确地把握香农的定义，推特的例子比布加迪威龙更容易理解。推特是一条从微广播平台发送的，包含在140个字符以内的消息，它和布加迪威龙一样都是信息的携带者，不同的是，推特是以交流为前提，不过这个区别并不会影响我们理解香农的理论。根据定义，信息是交流过程中想要传递任何一条特殊消息所需的最小单位。

不过这条推特是毫无意义还是充满哲理，对于我们想要研究的课题来说都无关紧要。

那么一条推特里面具体包含了多少信息呢？为了解决这个问题，让我们假想两个使用推特的玩家——艾比和布莱恩。在游戏里，艾比和布莱恩将只能通过“是”或“不是”来猜答对方推特的内容。前提是他们都有一本包含所有可能出现的推特内容的书。游戏的开始，艾比先从书中随机选定一条推特，然后让布莱恩通过提问猜出她的推特内容，不过艾比只能回答“是”或“不是”。香农提出，一条推特体现的信息量等于布莱恩需要完全猜出艾比推特内容所需要的最少问题。[6]那么，最少需要多少个问题呢？

稍微做个简化，假设艾比和布莱恩只能使用32种字符：小写的26个英文字母再加上一些其他的字符，像空格“”、斜线“/”、逗号“，”、句号“。”，以及艾特符号“@”还有井号“#”；并且假设艾比和布莱恩有一张字符和数字相对应的表格（a = 1, b = 2, …, @ = 31, # = 32）。

对于布莱恩来说，最好的提问方式就是每次削减一半的可能字符数，如果他真的这么做，那么第一个问题应该是“第一个字符大于16么？”如果艾比回答不是，那么布莱恩将知道艾比推特的第一个字符在字母“a”与“p”之间，紧接着第二个问题应该是“第一个字符大于8么？”如果艾比回答是，布莱恩将知道艾比推特的第一个字母在字母“i”和“p”之间。很显然，下一个问题将是“第一个字符大于12么？”

每次提问，布莱恩都将猜测范围缩减了一半。由于有32个字符，所以想要完全得知其中一个字符，布莱恩都需要提5个问题。最后，因为一条推特有140个字符，布莱恩将需要提140×5=700个问题——或者我们可以用“比特”来表示这个最小的问题单位——去确定艾比的推特。[7]

香农理论告诉我们，我们最少需要700个比特来表达一条由32个字符写成的推特。这就是现代沟通系统的基础。通过量化我们需要获知一条消息的最少字节数，香农实际上开创了数字通信技术，不过，玻尔兹曼在半个世纪以前就得到了和香农一样的结论。香农采纳了著名的匈牙利数学家约翰·冯·诺依曼的建议，把他的计量方式称为“熵”，因为他所用的计量方式和统计物理学家研究中推导的熵公式是等价的。（据说，冯·诺依曼告诉香农，由于没人真的了解“熵”是什么，香农可以轻松驳回各方争议。）

不过香农所给出的对于熵和信息的理解，似乎既无法和传统的“信息”的概念相结合，也难以和玻尔兹曼对于“熵”的解释相融合。以电脑为例，我们可以轻易看出“信息”与“信息”之间的不同。无论你的电脑是台式电脑、笔记本电脑，还是智能手机，你都是使用这一设备去存储图片、文件和软件。我们将这些存储在电脑硬盘中的各类文档软件称为“信息”。然而，对于香农来说，如果我们能够任意点击硬盘中的存储数据，进而有效地销毁所有图片和文件，我们实际上增加了硬盘中的信息。听上去似乎是无稽之谈。这种增加其实是由于香农将“信息”定义为能够完整描述一个系统状态所需的比特数（以电脑为例，就是硬盘中包含了特定信息的一串比特序列）。因此，相比于表示具有规律性的图片和文件，香农提出，表示一串乱码时所需的比特数更多。虽然理论上来说这个结论是正确的，但是香农理论作为一个对于通信工程来说意义非常的研究结果，需要与通俗意义上的“信息”概念和玻尔兹曼的研究相结合。为此，我会从玻尔兹曼的研究入手，解释什么是“熵”，然后进一步尝试去完善地描述一个充满图片和文件的“信息丰富”的状态。

要懂得玻尔兹曼和香农之间对于“熵”的理解差异，假想一个只坐满一半的体育场。[注]注意，我们有无数种方式可以让一个体育场上座率达到一半，通过探索这些不同的方式，我们将解释什么是熵。

首先，假设人们可以在整个球场内自由移动。其中一种坐满半个球场的方式是让大家挨着中心场地落座，空出外围的半数座位；另一种则是坐在外围，空出中心区域的位子。当然，人们也可以随机选择自己的位子。

在解释“熵”之前，我还需要引入两个概念。其一，将每种坐满半个体育场的座位分布称为一种“状态”（或者更专业一些，称之为“微态”，即微观状态）；其二，假设当两种状态的平均座位排号相同时，这两种状态可视为等价。

以体育馆为例，在统计物理学中，“熵”的定义即等价状态在所有可能的状态中所占的比率（严格意义上来说，其实是这个分数的对数，但对于我的论证并无大碍）。所以，熵值在人们全部坐在内圈或者外围时是最低的，因为人们只有一种坐法。[8]而当平均座位排号是最中间的座位排号时，熵值最大，因为存在无数种可能。玻尔兹曼把“熵”定义为某种条件下等价状态的个数，在这个例子中，最大熵值出现在当平均座位排号为中间排号时。

值得一提的是，即便人们通常将熵与混沌、无序相提并论，但实际上熵并不是用来衡量混乱程度的，而是衡量状态的多重性（等价状态的个数），只不过凑巧，无序状态往往多重性较高，因此实际中，高熵值的状态极有可能是无序的。所以，将熵值看作混乱状态的一种衡量方式并非毫无根据。然而，即使混乱程度并没有加深，熵值仍然可以增加，比如气体从一个体积为1的盒子中扩散到体积为2的盒子中（原先例子中的体育馆容量扩大到两倍）。此时，由于在更大的空间内气体的排列方式更多，熵值随着体积的增大而增大，但混乱程度却并没有随之提升。

比起实验性论证，香农更关心生活中通信系统的微态，比如一条推特或一座体育馆的座位，因此，香农使用“信息”来等价于熵值（因

此，本书中它们基本是同义词）。想要准确描述一个平均座位排号居中的微态，需要更多比特，因为等价状态太多，所以我们需要更详细和具体的信息来精确定位到某个特定的微态上。所以，香农认为，信息和熵在功能上是等价的：想要具体描述一条特定消息（香农定义下的“信息”）的比特数，即代表了实际上能够传递出的消息数量（即熵，我们称之为状态的多重性）。但切记，信息和熵并不完全是一回事。正如1967年的诺贝尔化学奖得主曼弗雷德·艾根所说，“熵是（物理）状态的均值，而信息是一个特定的（物理）状态”。[9]

事实上，尽管我们要耗费更多比特来表达一个随机的混沌状态，但这并不意味着这些状态中蕴含更多的信息。越多的信息诚然需要更多的比特数，但这并不是事实的全部。以体育场为例，当人们随机挑选座位时，熵值最大但同时也最无序（即使等价状态中的其中一个可能是相当有序的）。事实上，在自然科学的研究领域中，或者大众的认知里，“信息”所代表的一向都不仅限于比特数，还包括对于有序程度的衡量。当遗传学家谈及DNA，或者一张乐谱，一部电影，一本书，在这些场合我们所提到的“信息”都暗指其中包含的秩序，而不单纯是表达一条基因链、书或者乐谱所需要的比特数。

但有序状态是罕见而特殊的。我会首先解释一下我为什么在这里用“罕见”一词；之后我将解释“信息丰富”状态的特殊性，这也关乎“信息”一词在现代口语中的含义。

为了解释有序状态的特殊性，我将会把玻尔兹曼关于原子的理论引入体育馆的例子中。现在体育馆中仍然只能坐一半的人，但条件是平均座位排号必须是最中间的座位排号。换成物理学，这就相当于要求系统的能量守恒。但即便如此，整个系统仍有许多状态可以使得平均座位排号居中，其中大多都相当随意，少部分则很特殊。如果将坐在体育场的人看作屏幕上的像素，则他们的座位排列可以拼成单词，

比如“信息”，或是拼成图画，比如Hello Kitty的脸。但这些特殊的状态是否常见呢?

为了确定哪些状态是常见的，我们需要将所有可能的状态归类。方法之一就是寻找不同状态之间的关联性，如果其中一种状态可以简单地变化成为另一种状态，则它们相互关联。让我们简单地假设变形就是指所有人往上下左右相邻的位子上移动一格，使得形成的新的状态仍然满足平均座位排号居中的条件。也就是说，人们可以集体向右平移，或者坐在外围的人向内移一格，同时坐在内圈的人向外移一格。

原则上，简易的变形能够让我们转换到任意一种状态，但这操作起来却并不容易。如果体育馆中的人只能按照相邻法则选择位子（当然，要同时满足排号居中的条件），我们永远不可能突然间转换到一个拼凑成字母或图形的状态，因为这种状态极其少见并且难以达到。这个例子关乎信息是如何体现秩序的：在一个物理系统内，信息是熵的对立面，因为信息通常体现在罕见、规则但不容易得到的状态中。

比如布加迪威龙和吉他的构造就非常特殊，因此它们比那些用同样物质组成的常见结构包含了更多的信息，即便从理论上来说，如果无视有序结构中信息的关联性（否则我们对信息进行压缩，从而大大减少表达所需的比特数），表达同样组成部分构成的有序结构和无序结构，需要的比特数是相同的（对此，香农的理解十分正确）。由此，尽管香农和玻尔兹曼的理论不能相互融合，我们仍然可以得出“不仅仅是消息，绝大多数事物都由信息构成”这个结论。

让我们回到布加迪威龙的例子，不像推特，布加迪威龙是由极大量原子而并不仅仅是140个字符组成的，因此更为复杂一些。此外，正如我刚才所说，在这里我们并不是想要寻找所有可能的原子排列，而是寻找产生布加迪威龙的排列方式（就如同用座位拼出一个词一样）。例如，转动布加迪威龙的轮胎并不改变我们所感兴趣的一辆车

的基本性质，所以任何轮胎转动方式不同的布加迪威龙都是等价的。完美的布加迪威龙很少，就像人们在体育场中的座位分布，原子的排列方式恰好形成一辆布加迪威龙的可能性很小。但另一方面，布加迪威龙的残骸，就具有很高的多重性（高熵值），同时包含更少的信息（即使表达这种混乱的状态需要更多的比特数）。不过所有状态中的绝大多数，都是“自然状态”下的布加迪威龙，如同人们随机地散坐在体育场里。在这种状态下，布加迪威龙中的铁以铁矿石，铝以铝土矿的形式呈现。布加迪威龙的损坏同时也是信息的损毁；布加迪威龙的生产，在另一方面，是信息的具象化。

以上的例子帮助我们理解了物质的形态是如何体现信息的，比如一辆布加迪威龙。体育场的例子还着重体现了秩序的动态起源：想要有任何形式的秩序出现，原子就必须找到正确的位置。但问题是，一个系统不能自由地在两种状态中随意切换，就如体育场的例子所表现的，一个系统的当前状态决定了这个状态进行改变的路径，并且对于一个系统来说，从无序到有序，需要的是连续性的变化。可惜，从无序到有序的路径比从有序到无序的路径少得多。对于一个任何改变都只是偶然的系统来说（如统计物理学中建立的一个系统），想要做一系列正确、连续的移动是不容易的。

比如一个魔方。你大可尝试一下，你是不可能通过偶然还原一个魔方的，因此它实际上完美地证明了还原路径和熵之间的关系。一个魔方有超过4.3×10^{19}种可能的状态（即43 252 003 274 489 856 000），而只有一个是完美的有序状态，而且这个状态并不是那么难以达到，因为我们甚至可以在20步以内将它还原。[10]“20”这个数字听上去很小，但想要找到正确、连续的“20”步并不容易，大多数人在还原的时候都绕了弯路——还原魔方的经典套路（构建顶面的十字架，还原顶面四角，还原中间层等等），通常需要超过50步来完成（直到最近人们仍然认为还原魔方所需的必要步数大于20）。[11]但无论如何，这都

说明，或多或少，只有极少可能的罕见还原路径通向一个完美的魔方；这些路径就隐藏在那些让魔方越来越混乱的海量路径之中。所以想要熵值增长，就去把魔方放在孩子的手中。因此，自然界中信息十分罕见，不仅是因为“信息丰富”的状态并不普遍，更是因为非人为条件下，这种状态很难达到。

那么“信息量丰富”的状态有什么特性呢？我们又如何利用这些特性去了解它们呢？这种状态的特征之一就是其中存在着长期或短期的内在联系，这在魔方中不难看出[12]：还原之后，魔方的相同颜色都尽可能地紧邻在一起。然而，这显而易见的关联性在自然中也有所体现，比如一条DNA链，其中包括一长串核苷酸序列（A、C、T和G）的序列。DNA链很长，先进的科学技术仍然无法揭示大多数的DNA序列的意义，但只要和一串随机的核苷酸序列进行比较（就像扔一个四面的骰子），我们还是可以知道DNA链中哪一部分包含大量信息。通过比较，我们能够识别那些罕见的核苷酸序列——那些即便是随机组合也很少出现的序列，其中相邻的核苷酸之间有着特殊的关联性（就如同座位分布恰好拼出了一个词），甚至距离甚远的核苷酸之间也具有关联性（现在座位组成了“段落和章节”，并且首尾呼应，对之前的词做出了进一步的解释）。正是这些关联性体现了存储在DNA链中的信息，同时也表明DNA序列并非是随机生成的，而是在进化过程中被发现、保存、打磨，并不断演化而来的。[13] DNA的大量未知编码说明，即使我们无法解读，信息仍然存在。DNA排列方式并不是想要重新定义“信息”。尽管我们很难了解DNA序列的意义或功能，但我们仍能够检测到DNA中信息的存在。因此，我们不应该混淆信息本身的存在与其含义，或从旁观者的角度寻找信息。人类语言所交流的信息（如英语）以及生物交流所传递的信息（如DNA）之间的关联性在于我们是否知道如何翻译它们。它们代表着这个时代信息资源丰富的特点，不随观察者的改变而改变。这表明，对于“沟通交流”来说，我们需要一个从无意义到有意义的转化：我们向外传递的有意义的信息，

是建立在信息本身毫无意义的物理秩序之上的，而这些无意义的物理秩序就是真正的信息本身。注

最后，我们把熵的多态性与我们处理信息的能力（分析计算能力）相联系。正如我们在魔方的例子中所看到的，我们很难找到“信息丰富”这样一种状态，这不仅是因为这种状态很罕见，也是因为我们找不到达到这种状态的途径。这也就是为什么我们把一些人成功复原魔方的能力归结于他们的高智商：那些成功复原魔方的人找到了那些罕见的途径（或是找到了发现这些途径的规则）。其实，我们还可以用比魔方更简单的例子去阐释一个系统的多态性和计算之间的关系，考虑这么一个游戏：婴儿把不同形状的物体，比如圆柱体、正方体，插进形状相吻合的缺口里。大部分婴儿在14个月大的时候可以很顺利地将球体或圆柱体放进相对应的洞中，但当遇到立方体、正方体、三角形和其他形状时却不知所措。[14]为什么？把一个圆形的球对准放到洞里很容易，因为无论你怎么旋转它都看起来一样（所有状态都相同）；把一个圆柱体放进洞中也很容易，因为如果沿着它的轴线旋转它的状态也不发生改变。然而，把一个立方体放进相对应的洞内会相对来说难一些，因为只有少数几种旋转方法可以使它的状态和缺口刚好相对应。三角形会更加复杂，因为与缺口相对应的旋转状态更少。对于婴儿来讲，把不等边三角形（只有一种旋转方法才能把它放进洞内）放入洞中的难度相当于让成年人复原魔方，只有极少数的婴儿能够做到。由此可见，当婴儿逐渐能够将不同形状的物体放入其对应的缺口中时，他们也在慢慢发现那些十分罕见的低熵值的稳定状态。婴儿把不同形状的物体放进相对应的缺口中，或是青少年复原魔方，这些能够在每种状态都具有可能性的连续变换中发现罕见但是有用的状态的能力，是我们处理信息能力或者计算的一个很好的简化模式。

***

在本章的开头，我们通过破坏一辆假想中的布加迪威龙说明了产品所体现的就是物理秩序，或者说信息。然而，我们还没有解释这个秩序源于什么地方，为什么它会增长, 以及它为什么有经济价值。在下一章中，我们将从最基本的角度探寻物理秩序的源头，并在接下来的几章中探究人类在经济社会中积累着怎样的物理秩序，为什么这些秩序是有用的，以及人类如何促进秩序的增长。当我们从信息角度对产品进行阐述之后，我们将会探究那些限制我们生产秩序（比如在布加迪威龙上得以体现的信息）的社会和经济机制。这将帮助我们了解世界经济不均衡发展的过程，同时让我们从信息的增长映射到社会和经济的发展。

---

1. 1磅=0.453 6公斤。——编者注
2. 喜欢钻数学牛角尖的人所构想的体育场应该是这样的，当我们逐渐远离运动场地时，每一排的座位数保持不变，而座位所在的排数大小是随着该排座位距场地的远近而变的。
3. 当然，一幅具有绝对相关性的图像，如颜色一致的一幅画（如一个巨大的红色方形），它所包含的信息量是很少的，这正是因为它们之间的相关性太高了，以至于我们只要知道一个像素就能推知其他所有。这个例子告诉我们，信息并不存在于绝对有序或是绝对无序的结构中，信息是在不规则碎片状、不规则但又有一点点秩序的结构中，在这样的结构中的不同位置各有相关性，比如像是一张脸、一棵树、一台汽车引擎甚至是一朵云都有着这样的结构。

第三章
永存的异常

时间的不可逆性为我们在混沌中带来了秩序。

——伊利亚·普里高津

我们都曾一度妄想能够逆转时间。时光重来能让我们避免很多错误，有大有小，但错误的大小其实并不重要，它们全都不可避免。时间的齿轮只能向前转动：从古至今，从少至老，从生至死。[1]

时间的不可逆性是一个引人注意的物理现象，和地心引力一样，看起来需要一个明确的解释，但是并没有。事实上，直到20世纪，时间的不可逆性都是一个让许多极为聪明的人困惑不解的谜。艾萨克·牛顿和阿尔伯特·爱因斯坦都成功推导了一些运动学定律，使得逆转时间在理论上成为可行。[2]他们解释了炮弹、行星和卫星的运动，并不需要明确说明物体从哪里开始、运动到哪里结束。这种“起始”和“终止”可随意转换、互相对程的性质，对于简单的运动系统来说也许是正确的，但却并不能够解释为什么狮子会吃掉并消化角马而不是反刍出一整只活的角马，以及为什么被撞烂的布加迪威龙汽车不能自行重组成一辆跑车。

我们之所以对时间的不可逆性兴趣盎然，不仅因为这是一个吸引人的自然谜题，更因为它与信息的物理性起源息息相关。尽管时间的不可逆性和信息的物理性起源都是宇宙的特性，但这些特性并不能够被牛顿或爱因斯坦的运动定律所解释，即使这些定律在简单物质的运动系统中畅行无阻。恰恰相反，时间的不可逆性和信息的物理性起源

这些宇宙的固有属性，只能在那些研究和解释大量物体的宏观运动的理论中寻求解答。这是个认知寥寥的理论领域，在该领域中，关于轨道（物体行进的轨迹）的理论知识毫无意义。令人吃惊的是，当“轨道”这个概念毫无意义的时候，“时间”出现了。

时间的不可逆性和信息的普遍性相结合，缔造了一个前所未有的大谜团。我们将会看到，时间的不可逆性紧紧联系着从有序到混沌的宇宙进程。但自从人类有所察觉以来，我们的星球一直在做相反的事：地球上信息的数量看起来是在稳定增长，而不是萎缩。

地球上信息的普遍增长是一个违反19世纪物理常识的事实。虽然当时的物理学家往世界中探头一望就会发现世界在加速复杂化，但是他们同时也对玻尔兹曼所提出的信息随时间推进而削减的理论深信不疑：吉他发出的声音会随着声波在空气中的传递而消散殆尽；水塘中因为卵石激起的涟漪会慢慢归于平静。19世纪的物理学家们对于这种信息的泯灭给予了解释，但是却并不能够说明为什么信息在宇宙这个边界明确的大口袋里无缘无故持续增长。

当查尔斯·莱尔和查尔斯·达尔文在19世纪提出我们的地球并非如《圣经》中所提到的那样存在了6 000年，而是数十亿年时，人们对秩序的悖论愈加关注。这一引人注目的新发现意味着这种被所有人注意到的信息的异常增长已经持续了数十亿年，但是这种“异常”是短暂的——它们并不会是永存的，我们需要一个解释。所以，唯一能从这一明显的矛盾中得出的结论是，我们对于自然的解释缺少了重要的一环。现在信息持续增长，但没有人知道为什么。

玻尔兹曼最杰出的成就源自1878年的一篇论文，其中提到由许多粒子组成的系统会慢慢趋向于少量信息的状态，这被称为热力学第二定律。其实早在几十年前，鲁道夫·克劳修斯就构想出了这个理论，只不过当时其方程十分繁复。热力学第二定律表明封闭系统的熵值趋于增长，意味着一个系统会从有秩序演变至无秩序。想象在一杯清水中

滴入一滴墨水：那滴墨水最初会在水中形成形状瑰丽的漩涡，这种起始状态可称为“信息丰富”；墨水在水中能通过极少的方式形成某种特定图案，但是墨水小粒子却能够通过多种途径在水中达成基本匀称；而这种充分扩散、保持均匀的最终态，称为“信息匮乏”——因为有许多其他状态都与最终态近乎一致。所以，当你在一杯水中滴入一滴墨水时，你正在见证时间的流动：它从“信息丰富”慢慢趋向“信息匮乏”。宇宙随着时间流逝从混乱而少见的结构慢慢成为一种稳定的常态，而玻尔兹曼的理论完美地解释了这一现象。

然而，宇宙中却到处都是与墨水扩散相反的事例，比如婴孩的成长，比如森林火灾后的自然植被再造，表面上来看，这些事例所包含的信息和其复杂性都在持续增长。那么，这些“凭空”增长的信息源自哪里呢？在早期由玻尔兹曼和麦克斯韦预测，而后被亥姆霍兹、吉布斯和爱因斯坦的热力学所具体阐释出的宇宙，是一个如墨水扩散之后的均一“原始汤”——在这个“原始汤”中，没有信息和自由能（即，没有能量可以用来做功）。[3]

在20世纪，我们对于时间流动和信息的物理来源的更深刻的理解，有助于我们去解释现实社会的物理性质。新的理论表明信息的增长并非一种“异常”，而是在预料之中。实际上，由于新理论只是在原先的基础上添加了新的定律来将时间的矢量流动和信息的起源纳入考量，该理论与爱因斯坦和牛顿的动力学或玻尔兹曼的统计学并不矛盾。在新理论的研究领域，统计物理学家伊利亚·普里高津——出生于俄罗斯，后在比利时被抚养长大——的地位举足轻重：出于对非平衡热力学的贡献，尤其是耗散结构论，普里高津于1977年被授予诺贝尔化学奖。普里高津提出了许多重要的见解，而其中一条值得我们在此细究：“信息在处于非平衡但稳定的物理状态下的物理结构中，会自发产生。”[4]这句话概括出了信息的物理来源。看上去十分难以理解，然而，如果我们考虑一系列的实例去印证它，我们将意识到该理论并不

复杂。所以接下来，我将解构普里高津的理念，使其含义变得显而易见。

为了更好地理解信息的物理来源，我们要先明确一些概念。首先是“稳恒态”，其次是“动稳态”和“静稳态”的区别。一个简单的静稳态的例子是掉入碗里的石子。我们都知道一小段时间过后，石子会静静待在碗底：这就是一个静稳态。

让我们考虑一个更加有趣的例子：假如我们向一个空盒子中充入气体然后稍等些许时间，盒子内左侧所含的气体将等于盒子内右侧的气体，这时，盒子内的气体达到了稳恒态。不过，这与先前我们所提到的小石子的稳恒态并不相一致：在这个充满气体的盒子中，分子并不会静止在一个固定的位置上，它们会不断移动，而当从左至右移动的分子数量等于从右向左移动的分子数量时，就达到了稳恒态。具体来说，这个充满气体的盒子（如同先前墨水扩散的例子）代表的是动稳态。

现在让我们来构想一下非平衡系统中的稳恒态，比如一个非常经典的例子：清空浴缸时水流产生的漩涡。一旦拔开塞子让水顺着排水口向下冲流，挤压在排水口上面的水就会形成一个漩涡——只要仍然有水在这个系统中流动，这个漩涡就是一个稳恒态。并且，因为这种漩涡并不会自发地在平静的水面上产生，以至于比较少见，因此这个稳恒态还是一个“信息丰富”的状态。[5]不同于静止的水面，漩涡具有很高的结构性——水分子不是向随机的方向流动，而是根据附近移动的水分子的速度和轨道来决定自己的流动速度与轨道。漩涡这种“信息丰富”的状态是自发出现的，或者说，是从一个非平衡系统中自然生成的。套用之前提到的概念，我们可以说漩涡是一个体现“信息在非平衡物理系统的稳恒态中自发产生”的实例。

我们还可以举出很多漩涡这样的例子来体现秩序（信息）是如何从非平衡状态中自发形成的，例如香烟的气旋或篝火那迷人的跳动，甚至你电脑屏幕的光（因为当你刚打开电脑时，电脑屏幕肯定是处于非平衡状态的），同理，你和你的手机也是非平衡物理系统的实例。对于你自身来说，吃饭是为了保持非平衡（如果处于平衡状态，则没有能量做功，人体无法运动）；而对于你的手机来说，你每晚为它充电也是为了使其保持非平衡。

普里高津意识到虽然玻尔兹曼的理论是对的，但这个理论并不能解释我们在地球上所观察到的现象：因为我们的地球是一个在趋于平衡的更大的系统——宇宙——里面的非平衡系统。事实上，我们的地球从未显现过趋向于任何形式平衡的迹象。太阳向地球辐射的能量和地核本身的核衰变源源不断地给地球提供生成信息所需要的能量，从而维持了地球的非平衡状态。这样看来，我们可以把我们的地球想象成一个在浩瀚荒芜的宇宙里的信息小漩涡。

普里高津意识到为了获悉宇宙的"信息丰富"本质，他需要理解非平衡系统的统计学特性。这些非平衡统计学特性和玻尔兹曼的平衡系统中的特性不一样，差别在于，非平衡系统中信息会自发产生。普里高津的突破在于提出了一些适用于非平衡系统的数学定律与原理。他的研究表明，宇宙拥有一个奇怪的结构模式——信息往往伴随着混乱而产生。这就像在一个平底锅里烧水。首先想象只开点小火，那么锅底的一小部分水将会升温：这些分子会开始加速运动。但是如果在此时快速关掉火，锅里的水绝不会持续蒸腾、自行形成一个"信息丰富"的状态。现在想象让火持续加热，随着水分子开始加速运动，液体开始翻滚：这是一个包含信息的混乱状态，就如同香烟的气旋。如果持续加热直至平底锅内的水分子进入一个上下对流的动稳态——这时，水流变得有秩序起来。由此可见，紧随混乱之后，系统会形成一个高度组织化的状态，其内部相互关联且充满信息。因此，普里高津

证明物质在非平衡系统中达到的稳恒态往往是有序的动稳态：混乱后即是信息（秩序）。

了解到非平衡系统趋向于“信息丰富”的动稳态这一特征，我们能够更好地理解信息的来源。在一个类似于地球非平衡系统里，信息的自发产生并不足为奇——这个现象通过解释，不再是一个“异常”。但是坏消息是，熵一直潜伏在“信息丰富”——这对于平衡系统来说仍是一个“异常”——的边缘，等待着毁灭这些“异常”的机会：浴缸里的水形成的漩涡在我们把塞子塞回排水口或水排干的瞬间就会消失。这让我们联想到，宇宙在破坏非平衡状态所无偿赋予我们的“信息丰富”这种稳恒态时，也同样出手迅猛。但是信息找到了一种反击的办法——粘性。由此，我们生活在一个信息足够的“粘”以至于可以被重组和重建的星球上。这种对生命与经济的出现至关重要的粘性也与一些基本的物理特性相联系。

第一个促使了信息粘性的机制与“热力学势”这个概念有关，这听起来又是一个很复杂的概念，然而并非如此。我们只需要了解，物理系统的稳恒态可以表示为一个热力学数学公式的最小值，也就是热力学势（好比平衡系统中的零势能）。尽管我们对高中物理中势能的基本概念都颇为熟悉——我们都十分清楚石子最终会静止在碗底是因为在那个点上小石子的势能最小，但现在的问题是，并不是所有物理系统的稳恒态都使势能最小化：许多稳恒态最小化或最大化其他参数（例如，在盒子里静止不动的气体最大化熵），但是既然我们主要对控制非平衡系统的势能有兴趣，我们暂且排开这里所有的其他参数。所以，像浴缸漩涡这种非平衡系统最小化的势能又是什么呢？1947年，普里高津证明，非平衡系统的稳恒态最小化熵产生。[6]这意味着，非平衡系统自发趋向于稳恒态，且秩序自发出现来最小化信息破坏。

普里高津先假想一个接近平衡的系统，这个系统拥有一个稳恒态和多个瞬态，通过构想，普里高津推导出了他的理论。由于建立在一

个非常有限的假设上，普里高津的理论并不能立刻被应用在极其非平衡的系统中，尤其当那个系统还可在多个稳恒态中进行选择时。事实上，虽然真相还没有盖棺论定，但很多人认为极其非平衡的系统会选择最大化熵产生的稳恒态。[7]不过，这个最大化熵产生原理与普里高津的最小化熵产生原理并不矛盾，因为在稳恒态下最大化熵产生仍会比瞬态下带来更小的熵的产生。尽管如此，既然我们的目标并不是探究非平衡系统统计物理的复杂性，而是解释信息的来源，我们则完全不必被以上这段话冲昏头脑。所以，我们暂且不谈极其非平衡系统有什么是能控制的，而是来做一个结论：这种势能，无论是最小化还是最大化熵产生，还是在统计过程中的不可逆性，都可被体现在自发形成的系统状态中，而这种状态内在相互关联紧密、比瞬态耗散少，并且生产能够促发生命起源的物理秩序；普里高津和格雷瓜尔·尼科里斯曾在1971年发表的一篇讨论非平衡系统与生命的联系的杰出论文里注解道："一般而言，在热力学平衡周围的系统结构非常容易受到破坏，而很少在热力平衡系统本身上发生；相反，……新的结构很可能在其系统中生成，在新的结构中，不适用于稳恒态的某些特殊的非线性动力学定理同样维持着这些新结构的基础热力学表现。"[8]

统计物理系统生成信息并在非平衡的条件下持有这些信息，但是这些系统本身具有的流动性使人们很难看出这些系统是如何长时间保持那些信息的：浴缸中的漩涡很快就会消失，而香烟烟圈那种浪荡的美感也会随着其扩散至朦胧烟雾之中而慢慢消散。非平衡系统的统计学性质可以帮助我们了解信息不受人类摆布的起源，但并不能帮我们探究信息的耐久性。然而，正是信息的耐久性让信息可以被重组、可以发展出生命与经济。所以，信息的耐久性与其来源一样重要——因为如果没有耐久性，信息就无法重组来产生更多的信息，而这些重组又恰恰是我们所需要的。然而，那些用来解释信息起源的定律并不能够确保信息经得起时间的消磨，所以，还有些我们至今尚未提到的关键之处。

埃尔温·薛定谔，1933年诺贝尔物理学奖获得者，在其1944年出版的书《生命是什么》中写道，我们不能试图通过单纯研究示例中的流体系统来了解物体中所体现的信息的耐久性。烟雾、水漩、墨水滴和气体都是流体，它们的瞬息性都源于流动性——所以，信息具有粘性并可以被重组的第二个原因，是信息可以被固体所体现和携带。再回头考虑浴缸漩涡那个例子，这次假设你拥有一个让你稍稍动动手腕就可以使浴缸与漩涡结冰的魔杖；[9]再想象我们拿出一个冰锥把漩涡从大冰块里面凿出来，此时，你手中拿着的就是一个小信息量子。只要你不解冻这个漩涡，在那个“信息丰富”稳恒态中的一部分信息就会持续存在。[10]通过使漩涡凝固，我们困住了在流体世界中产生的信息，从而得到构建世界复杂性的信息晶体。

据我所知，想要冻住一个漩涡是不可能的，但仅是想象这样一个画面，就能够帮助我们理解固体对于信息持久和进化的重要性。薛定谔在他的书中强调道，固体对解释生命的“信息丰富”这一性质十分关键。薛定谔和同时期世界上的其他任何一位生物学家一样，都知道构建生物体所需的信息就被藏在细胞中的某个角落，不是蛋白质就是DNA。[11]从物理学角度来说，蛋白质和DNA都是晶体，更准确地说，它们是非周期性晶体（不重复但包含长期关联的结构）。想象一张只由4个音符重复出现而构成的乐谱。跟一张布满变奏和半音的乐谱相比，那张简单的乐谱包含的信息极少。薛定谔知道储存信息需要非周期性——因为一个周期性晶体无法携带很多信息：“基因几乎不可能是一滴均匀的流体。它可能是一个大蛋白质分子，其中每个原子、原子团、杂环都各有分工、相互独立。”根据薛定谔的理论，生命的出现来源于生物分子的非周期性和其固体／晶体的特性：非周期性让分子能够携带大量信息，而其固体性质则让信息能够长久保存。

所以，结合一下普里高津与薛定谔的理论，我们了解到信息是从哪里来的（从非平衡系统的稳恒态中产生）以及为什么信息会逗留（因为它被储存在固体中）。两个理论的结合有一个非常奇妙的古怪

之处：它告诉我们宇宙既是被冻结的又是流动的。从物理学的角度来说，固体被认为是凝固不动的是因为其结构相对于环境中的热涨落是稳定的。[12]我们的城市是由固体组成的，例如汽车、建筑物、车站、地铁和人行道；我们的家亦是由固体组成的，例如厨房水槽、冰箱、盘子、灯泡和洗碗机；我们体内的细胞也是由固体组成的——维持细胞运作的数万个蛋白质。然而，汽车和蛋白质等作为固体，却可以四处移动。可以说，城市和细胞是动态系统，内部固体一直在做相对运动。这些物体的固体性质让我们可以以低成本积累信息，因为即使是放之宇宙之中，存在时间相对极短的固体，也可以暂时地保护其中储存的信息免于熵的魔掌。

但是信息的增长比结晶体和动态漩涡还多一样更重要的东西——为了让信息实现真正的增长，宇宙还有很重要的一环：就是物体处理信息的能力，或者说物质计算的能力。

想象一棵树，一棵处于“半冻结”状态的树，就像一台以阳光为动力的电脑。在新英格兰，树会对白天的长度做出调整，在夏天和冬天分别运作一套不同的生理程序。它知道何时要落叶，何时要发芽——树木在处理环境中可利用的信息。用来传导信号的那些蛋白质帮助树木弄清楚如何让树根伸向所需的水源、如何在被病原体威胁时激活免疫系统，以及如何让树叶朝向其渴望的太阳。树木没有我们人类所拥有的意识或语言，但却和我们一样有处理信息的能力，即使树木处理信息的方式更像我们身体的无意识反应——消化、免疫、激素调节等，而跟我们拥有的心智能力有所不同，但树木仍然是知道如何处理信息的。

从严格意义上来讲，一棵树就像一台电脑，只不过其能源不是来自插座而是来自太阳。作为一台电脑，树跟我们一样，不能运作MATLAB（一种计算机语言），但是区别于电脑和人类，它有进行光

合作用的能力。树木之所以可以处理信息，是因为它们是一种非平衡系统的稳恒态。树木实际上是在体现如何存活这样一种能力。

但是既然树是活的，我不能用它来证明计算先于生命（虽然这可以非常有说服力地证明计算在人类之前出现）。为了说明物质处理信息的能力是先于生命的这一特质，我们需要想象一个更基本的系统——现在，让普里高津着迷的化学系统就派得上用场了。

想象一组化学反应，把化合物I通过合成化合物M再由M转换成生成物O。现在想象向这个系统中以稳定的速率添加I。如果添加I的速率很小，那么中间化合物M将会同时被生产与消耗，因此M的质量并不会有太大的波动，这个系统将会进入一个稳恒态。最终，系统将会趋向平衡状态。但是，在大多数化学系统中，一旦我们提高I的添加速率，这个平衡状态将会很不稳定，意味着这个系统原先的稳恒态将会被两个或以上的与原来平衡状态不同的更稳定的稳恒态所取代。[13]当这些新的可能的稳恒态出现时，系统将会需要从中做出选择：移动到其中或者另外一个，打破原先系统的对称性并在这个系统演变的历史上记上一笔。如果我们进一步提高输入化合物I的速率，那些新达成的稳恒态又将会变得不稳定，然后其他新的稳恒态将会出现。多重稳恒态会把化学反应带入到高度组织状态，例如分子钟中的化学振荡器，其中的化合物会周期性地从一种化合物变化至另一种。但是，如此简单的化学系统是否具有处理信息的能力呢?

我们可以通过改变添加工的速率来迫使系统达到一个稳恒态，这样的系统会一直在“计算”，因为它会根据输入的条件来改变输出，就像一个化学传导者。这个化学系统以一种极其粗略的方式模拟了原始的新陈代谢，以一种更为粗糙的方式模拟细胞分化——分化过程中这些不同的细胞类型可以被抽象地看作系统的化学稳恒态，而复杂系统的生物学家斯图亚特·考夫曼在十几年前就假设了这一点。[14]

高度相互作用的非平衡系统，不管它们是应对季节变化的树还是根据输入信息来输出信息的化学系统，都告诉我们物质是可以进行计算的，而且这种分析计算能力，就如信息一样，先于生命的起源。这些系统中的化学变化正在修改那些原本编码为各种化学物质的信息，这就是基础的计算形式。生命是物质分析计算能力的成果。

最终，我们需要解释这些是如何与时间的不可逆性联系在一起的。毕竟这是这个章节开始的原因。为此，我会再次运用普里高津的理念。作为例子，让我们先来假想一个充满了数万亿乒乓球的大箱子。15

想象乒乓球互相对撞而并不损失能量，所以这些对撞从不停止。接下来，假设你开始观察这个系统时，乒乓球正安静待在盒子一角，但又有足够动能或速度在盒子里乱撞。这和我们之前所举的滴墨例子很类似。

在这个简单的统计系统里，能否逆转时间的问题就是能否逆转小球运动使它看起来像是向后运动的问题。也就是说，有没有可能将乒乓球放在一个轨道上，使它的最终形态与它最初的状态一致?

想象这个“电影”按正常时间顺序播放是非常容易的。乒乓球通过无止息的运动四散在盒子的各个角落，最终达到一个动稳态。但是假设这个逆转时间的实验能够成功，为了让事情更简单我会假设我们有两台机器。其中一台机器可以瞬间改变任意数量乒乓球的速度，只要我们给它输入每个乒乓球的预期速度。这个机器无限精准，但还是取决于提供的信息的精准度。换句话说，如果作为已知条件的位置和速度只精确到小数点后两位（比如，速度的单位是厘米/秒），那么这台机器计算所用的数据也只能精确到小数点后两位，而小数点后面第二位以后的数字都会是非精确的随机数值（比如，毫米/秒及以此类推更小的单位）。我们第二台机器可测得的数值无法完全精确，但却在有

限程度中能做到非常之精确了。于是，我们所面临的问题就是，我们能否用这两台假想的机器，像电影倒带一般，倒推出系统中的速度呢?

首先，我们的着手点可以是试着较粗略地倒推每一个小球的速度。打个比方来说，如果一个已知小球在x方向上的速度为Vx=0.234 256 235 623 712 8…（米/秒），那么我们简单倒推的方法就是只取到小数点后两位（比如，我们确立一个新的）。这个简单的逆转能使“电影”倒放吗？答案当然Vx=–0.23是不行。根据混沌的定义，一个有着亿万乒乓球却不损失能量的系统，比如眼前这一个，一点点初始值的设定偏差都会呈指数型放大，因此两位小数的精准度是不足以使小球回到最初状态的。但仅仅是因为精确度的关系吗？还是确实存在着其他局限？如果我们在测量和赋值中足够精准的话，我们可以逆转时间吗?

根据两台想象中的机器，我们总是可以用更精确来试图完成实验，但只要精确度是有限的，我们永远不能逆转时间。我们可以用10位，20位，甚至100位的有效数字来限定速度而不是只用几位，但还是无法逆转时间。因为在混乱系统中，任何不精确都会被放大而毁了这个实验。从数学角度来看，我们会发现在这个实验中数位的地位被反过来了。通常来说，一个数，小数点左边的数字比右边的数字重要（尤其在你的银行账户中），但在混乱系统中并非如此。因为在这样的系统中，相比于第一位，最后一位的测量占据主导地位。然而不管我们的测量有多精确，小数点右边总会有点什么。所以，就算不去考虑海森堡的不确定性原理（这个理论限制我们只能精确到小数点后几十位），我们仍然可以肯定，除了在某些特定时刻我们用机器给这个系统做了些改动以外，电影总是随着时间向前播放。

所以，时间在统计系统中总是不可逆转的，由于系统的混乱本质我们需要无限的信息来逆转系统的进程。这同时意味着统计系统不能

走回头路：因为有与现实共存的无限多条路径，随着统计系统的前进，它们快速忘记了如何倒退。返回路径的无限性被普里高津称为熵障碍，这也是除了牛顿和爱因斯坦之外对时间提出的新颖视角。对于普里高津来说，过去不是不可到达，它只是不存在——并没有过去，虽然有过过去。在我们的宇宙中，不存在过去和未来，只有在每个时刻都在进行计算的现在。现在转瞬即逝，这很重要，因为它帮助我们理解统计物理和计算之间的联系。普里高津这种瞬逝的宇宙观预示着过去在微观角度上是不可被计算的，因为不可能到达，除了钟摆和行星轨道这种起始和终止可相互对调的情况以外（前提是无能量损耗），熵障碍的观点让现在永远无法倒退回过去。

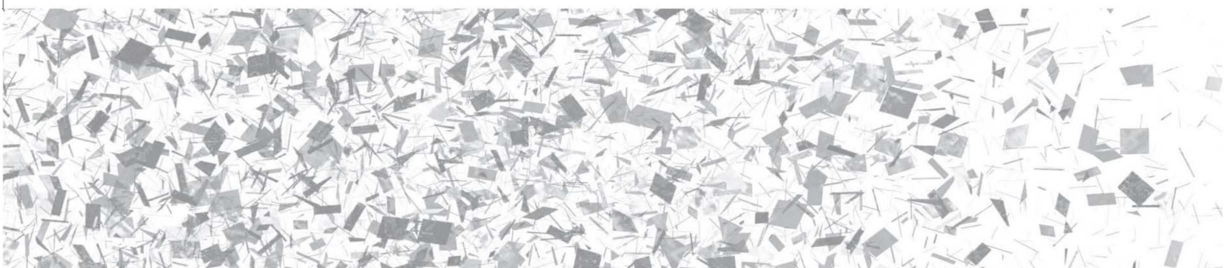
***

在本章的开头，我们对时间的不可逆性和信息的起源提出了疑问，当两者放在一起进行谈论的时候，就成了一个谜，因为时间从有序到无序，而我们的世界却趋向复杂。整个宇宙的熵值的增长似乎与信息的增长相矛盾，但其实并非如此：宇宙略施手腕就可以让信息在有限的范围内实现增长。这个“有限”范围内，有充足的自由信息等待处理，温度也正好能使物质固化，从而让信息保存得更持久。

我在本章中所描述的宇宙热力学有助于让我们理解信息的起源环境，不过现今社会的复杂性并不能够单纯地由这种简单的机制来解释。为了让信息在真正意义上实现增长，宇宙还需要一个条件，就是物质的分析计算能力。

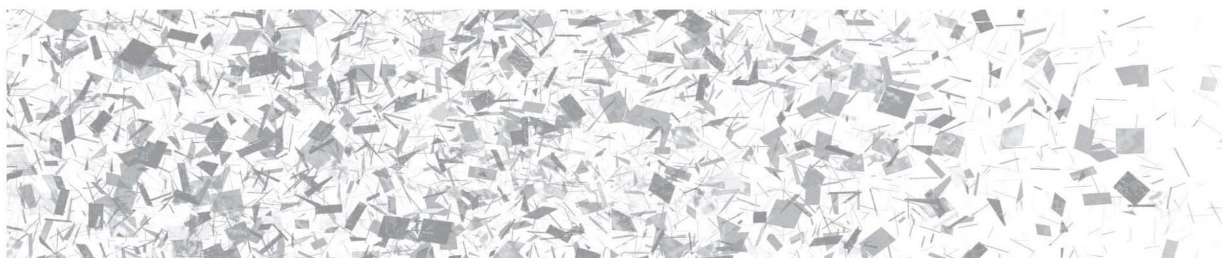
无论是在简单的化学反应还是诸如树木和人类的复杂的生命形式中所体现的，物质的分析计算能力，都是使信息在宇宙中某个特定范围内——我们称之为“家”——得以积累和快速增长的关键能力。我们会在第三部分探讨一个系统是如何累积知识技术的，从而了解这种分析计算能力，以及它和人类与社交关系网的关系。分析计算能力和被人类实体所携带而产生的局限性将会解释社会中信息的增长。

在那之前，我们需要首先理解与人类紧密相连的信息的物质性——这些信息体现了人类的知识技术。这并不是指DNA某段基因链的物质性，而是我们制造且用于交易的产品的物质性，或简或繁，小到一条麦卡洛尼项链，大到一架大型航空班机。所以，接下来我们将会详尽描述那些促使经济发展的产品，谈谈它们所携带的信息和这些信息给产品赋予的功能。因此接下来，产品将不再单纯的是信息的携带者，而更是我们传递远比信息更重要的事物的媒介——对知识技术的实际运用。



WHY
INFORMATION
GROWS

第二部分
想象力具象化



世界对于有想象力的人来说只是一块帆布。

——亨利·大卫·梭罗

我常常对处理大量信息感到厌倦，于是我在人群中穿梭，飞速地掠过一切事物，但整个世界还是向我扑面而来，广阔得让我难以承受。回复邮件、认领包裹、批改论文、准备课件、发表演讲，考

虑如何论证和反驳、如何设计网站、如何引用论文、如何写企划案，寻找图表、设定算法、拍照、登机、提出建议、接受建议、做三明治、按电梯按钮、努力记住每一件事，以及在组织语言的同时和键盘做斗争。

对于整个社会和经济的大宇宙来说，我就像是一个小小的可移动的神经元，四处转动，漫无目的。我被信息所驱动着，努力跟上这时代的快节奏，平衡我的私欲来融入这个社会。这并不容易。

生活其实就是这么一回事儿：收集并处理信息，进行各种社交互动来累积信息。我们的生命就是在传递那些无意义的物质和有意义的消息——那些物质帮助我们储存信息，而各类信息帮助我们认知整个世界。正因为个体的渺小，所以人类建立了社会制度，拥有更强的能力去处理信息：创造了各式各样的物品和语言来产生信息，对周围的一切进行了改造，然而实际上，我们在不知不觉中却成为效力于信息增长的奴隶。之后我将会介绍社会和经济的制度是如何使得信息增长的。这些机制其实是我之前所提到的，物理系统三原则的衍生品，我稍做了一些小改动，来让它们顺应整个社会经济的复杂性。注

整个社会累积信息的能力都建立在：能量的流动、固体物质对于信息的存储，以及人类作为一个整体的分析计算能力上。显然，地球上信息增长的能量全部都是来源于太阳。植物受到太阳辐射，产生糖分，最后经过沉积变成我们所熟知的原油。但作为一个高智商物种，是我们使得信息能够持久地进行储存：从削刻第一个石斧，到最新的电脑，我们试图让信息携带在物体之中。诚然，能量对于这些固体的产生是必不可少的，但人类的分析计算能力也起到了很大的作用，而这种分析计算能力是建立在社交关系网之上的，因此我们必须依赖于各种制度和科技的发展，而制度和科技的发展又包含语言、歧视、信任、交流和交通技术等。如果制度和科技不

健全，社交关系网就无法高效运行，我们也就无法积累知识技术，无法使信息增长。

接下来的这部分我们将探讨那些用于存储和积累信息的固体物质。为了体现这些物质的意义，我将诗意地称它们为“想象力的结晶”（又称“具象化的想象力”）。第三部分将会把整个社会看作一台电脑，并着重介绍那些限制我们累积知识经验的机制；第四部分会引用大量数据，以此论证之前提到的各种理论，在它们之间构建联系，然后用我们所知的全部去解释经济的增长和发展。



一男子正在以制作鞋子的方式处理信息。（沙特阿拉伯，利雅得。）



人们正在热烈交谈，交换着大量的信息。（俄罗斯，圣彼得堡。）



一名信息处理者正在休息。（哥伦比亚，卡塔赫纳。）



一个正在进餐的家庭一边摄入能量一边分享消息。（智利，圣地亚哥。）



一个有着悠久历史并仍然与现代社会息息相关的大教堂。（俄罗斯，圣彼得堡。）



被丢弃的信息。（马萨诸塞州，萨默维尔。）

1. 虽然传统意义上的经济用语不会这么说。

第四章
脱离想象

我们在很多时候都会谈起想象力。我们会谈到诗人的想象力、艺术家的想象力，但是我却更倾向认为我们其实压根儿不知道我们在说什么。

但就是“它”（想象力）贯穿了整个围绕在我们周围看不见的世界——科学的世界，也是“它”能够感受和探索到那些存在于我们意识之外、看不见摸不着的东西。

——阿达·洛芙莱斯

这就是所谓的摩托车，它是由一组钢铁制的零件所组成的观念体系，其中任何一部分、任何一种形状都是由人所设计出来的。

——罗伯特·M·波西格

想一下两种“苹果”：从树上摘下来放到超市中销售的苹果，和硅谷出产的“苹果”。它们全都在经济活动中被交易，而且都携带着信息，无论是在细胞还是芯片里。它们之间的主要区别不是组成部分的多少或是具体表现形式，可以吃的那种苹果是数以万计的基因通过复杂的生物化学反应所形成的。普通苹果和“苹果（手机）”之间最大的区别是，前者先存在于世界上后被我们所利用，而被我们用来查收电子邮件的后者是出现在一些人的头脑中然后才被创造出来的。两种苹果都是产品而且都携带信息，但是它们之中只有一个——电子产品“苹果”——是人类想象力的具象化。[1]

把产品看作想象力的具象化表示产品不只可以体现信息，还可以象征想象力。我们先在脑海里构建出这些信息，然后通过计算来创造出一个跟我们脑海中想象的东西十分相似的实实在在的物品。作为一种食物，苹果早在人类给它起名、设定价格和交易市场之前就已经存在了；可以吃的“苹果”这个概念可以被很容易地灌输到我们的意识中去。另一方面，iPad（苹果平板电脑）和iPhone（苹果手机）是意识输出而不是输入，因为它们先存在于我们的脑海中，而后出现在这个世界上。所以说，可以吃的苹果和电子品牌苹果之间最大的区别在于它们物理秩序的来源（前者原本就存在于世界中，后者为人类所创造），而不是如何将物理秩序具象化（体现为食物和电子产品）。正如我所强调的，两种产品都是信息的携带者，但其中只有一个是想象力的具象化。本章我将着重描述产品中起源于想象力的信息：这正是人类积累的日益增长的信息的主要特征。

为了更好地理解想象力的具象化，让我们来看看我媒体实验室的两个同事——休·赫尔和艾德·博伊登的故事。休是一个狂热的登山爱好者，同时深谙这其中的危险性。他年轻时曾因为在华盛顿山冻伤而失去了双腿，然而到了40多岁，他仍然能够十分自豪地在麻省理工学院行动自如。休话不多，我猜大概是因为他为自己创造的假肢已经能够说明一切，无须任何多余的言语上的诠释。

休的故事是非常鼓舞人心的。他所存在的社会并没有购买到机械四肢的可能，但因为他的存在，人类将能够通过连接到我们神经系统的机械假肢来恢复行动力——甚至有可能恢复触觉！

休所属的实验研究领域有很多杰出人士，但他仍然是当我们说起具象化物理信息时，所能想到的最佳人选。通过发明创造，休和他的同事们正在赋予人类全新的能力，让我们能够超越自身的极限。[2]实际上，在休的成就中最诗意的部分不是他通过机械腿来行走，而是他其实行走在自己的想象力之上。

艾德的故事不同于休，但依然振奋人心。在过去的几十年里，艾德一直投身于光遗传学领域——通过光来刺激神经元。艾德正在和其他研究者一起试图将人类和机械相互交融在一起。通过长期的努力，艾德和他的同事们会创造出我称之为“大脑的USB接口”的东西。

大脑的USB接口也许能够在未来给技术发展带来无限可能性。这些技术发展包括那种帮助了休的生物修复系统，甚至未来的博弈和互联网；它们给我们的未来所带来的改变是我们现在根本无法想象和评估的。但是有一点我们现在可以肯定，休和艾德的成就有一个共同点：他们都将想象力具象化为物体，以此赋予人类新的能力。

从具象化想象力这个十分诗意的角度来看待休和艾德的故事似乎可以理解，实际上，用同样的方法看待普通物品也同样切实可行。我们不久之后就会意识到，把产品看作想象力的具象化能够帮助我们明白人类对创造产品的渴望，更重要的是，这种方法能够让我们重新看待经济发展。为了说明这一点，我们就拿国际贸易来作为一个例子。如果我们以具象化想象力的眼光来看待产品，我们所处的国家都成为想象力进出口国，而其中出口的远不只是资本和劳力，还有更多信息。一个国家的出口产品结构就如同这个国家的生产力指纹，告知我们国民生产那些诸如汽车、咖啡机、地铁、摩托车等实体化想象力的产品的能力，以及生产这些产品所必要的其他因素。实际上，一个国家的出口产品结构代表了这个国家人口总体的知识技术储备。[3]

既然进出口商品实质上是一种想象力的交易，那么我们就应当考虑一下一个国家贸易差额（出口额减去进口额）与想象力差额相反的情况。国际贸易的数据表明，这样的例子并不难找，尤其当我们还可以利用可视化搜索引擎，比如阿历克斯·西牟斯在我的媒体实验室创造的“经济复杂性研究中心”，这也是他的硕士毕业论文的主旨。（http://atlas.media.mit.edu）

智利和韩国就属于这样的情况（见图4–1和图4–2）。在2012年，智利向韩国出口了价值46亿美元的产品，主要是精炼铜和非精炼铜。[4]同年，韩国向智利仅仅出口了价值25亿美元的产品，主要是汽车和汽车配件。[5]很显然，在与韩国的交易中，智利有着正贸易差额，却同时有着负想象力差额。因为智利并不需要在出口商品上花费太多想象力，但是却进口了许多包含充分想象力的商品。

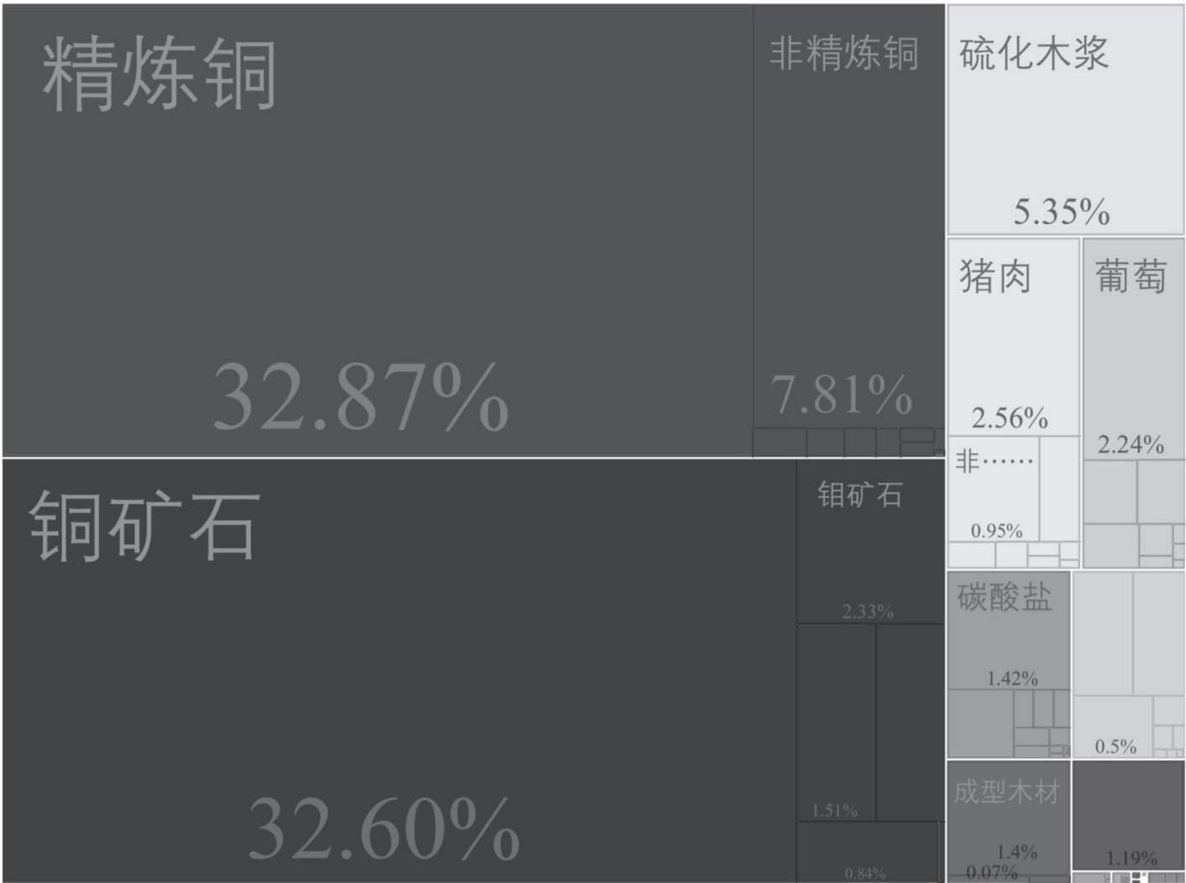


图4–1 2012年智利向韩国出口的商品，价值总计46.1亿美元

资料来源：atlas.media.mit.edu

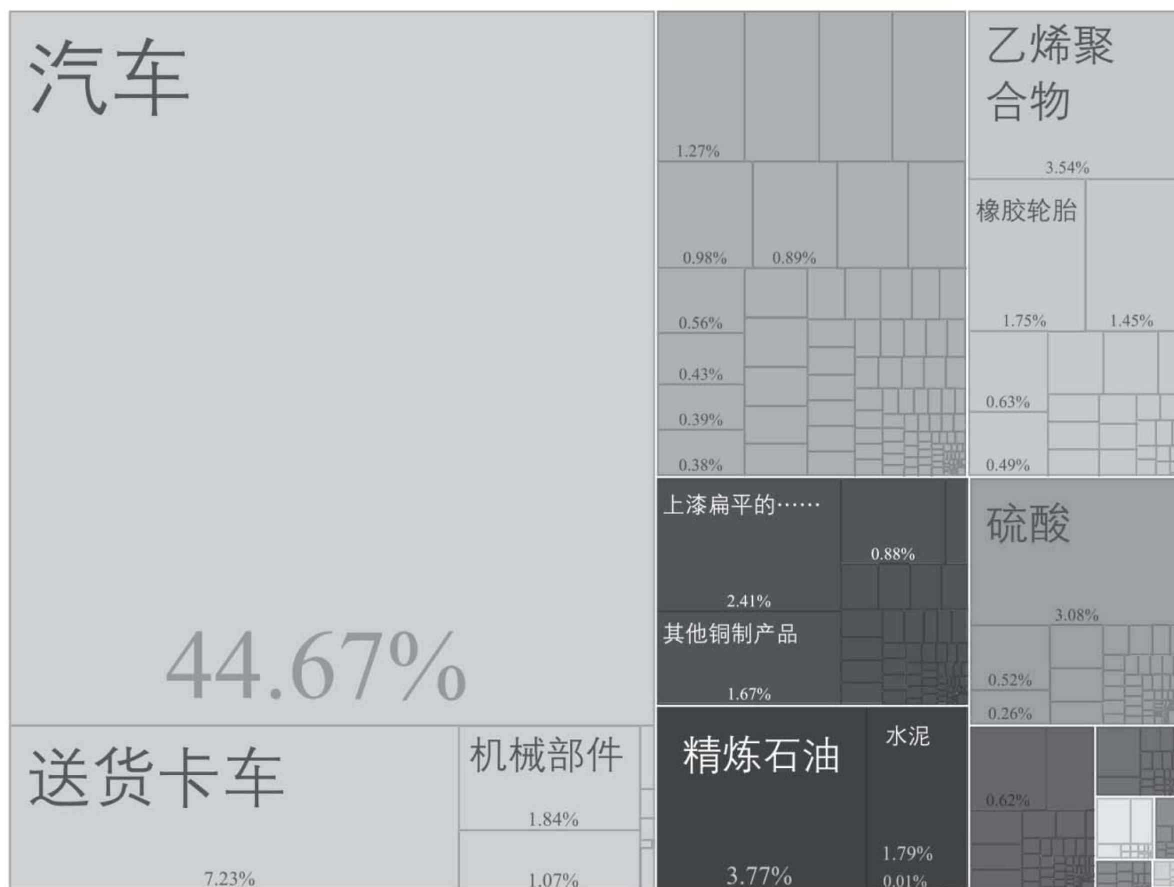


图4–2 2012年韩国向智利出口的商品，价值总计25.4亿美元

资料来源：atlas.media.mit.edu

再比如巴西和中国。在2012年，巴西向中国出口了价值超过410亿美元的商品，但只进口了价值334亿美元的商品（见图4–3和图4–4）。近年来，相比于中国，巴西有着正贸易差额和负想象力差额，因为它与这个亚洲最大经济体的贸易活动主要是以铁矿石和大豆来换取电子产品、化工品，甚至加工过的金属。

所以，如果我们把产品重新定义为想象力的实体化，传统经济学中那种强调贸易差额的理论似乎就不能说明一切了。因此，我们采用“想象力差额”这个概念，来体现我们在贸易活动中交换的物质熵所承载的想象力。

这种强调想象力的理解方式也帮我们很好地诠释了“剥削”这个概念。“剥削”这个词在一些国家用来说明出口原材料来换取优良的加工品这种贸易行为。不过我们所要研究的“剥削”，不是指工业生产中生产力的剥削，而是广义上产品所提取的经济价值的剥削。接下来我们将会看到，这种经济价值不是单纯的生产力，而是参与到生产过程中的生产者的想象力。



图4–3 2012年巴西向中国出口的商品，价值总计413亿美元

资料来源：atlas.media.mit.edu

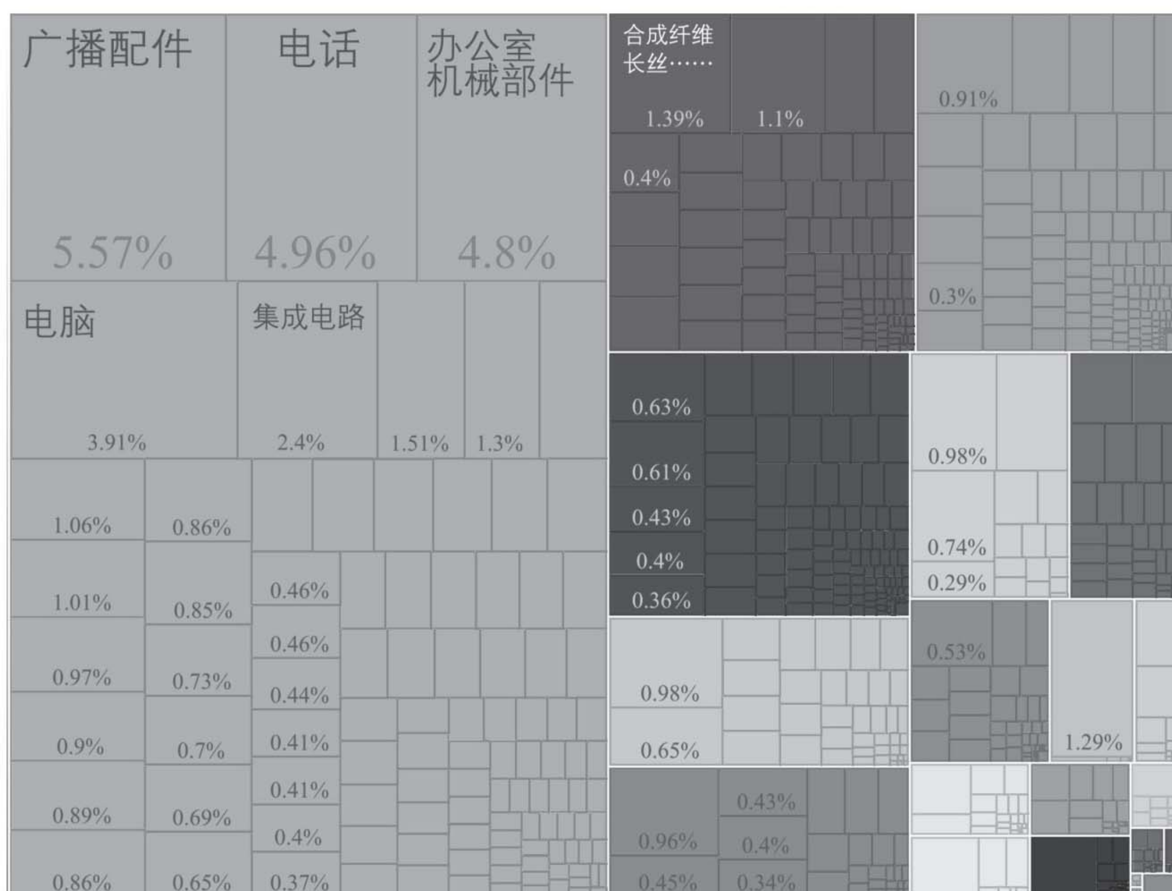


图4–3 2012年巴西向中国出口的商品，价值总计413亿美元

资料来源：atlas.media.mit.edu

人生的头24年里，我都在被称为“智利”的绵长海岸山峦上度过，对于那种传统意义上的剥削很熟悉。智利在历史上一直都从事冶炼原材料的生产活动，或者说，智利一直在进行“原子经营”。但故事并非这么简单。在19世纪，智利的资产很大程度上源于出口硝石，一种可以作为肥料和火药配料的矿物质。硝石让整个智利的经济蓬勃发展。在20世纪，智利的人均收入比西班牙、瑞典和芬兰的还要高。[6]就在这看似繁荣的背后，命运的天平却缓缓倒向另一边。

1909年，德国化学家弗里茨·哈伯和卡尔·博施发现了一种非常便宜的大规模生产硝石的方法，这等同于往智利运转自如的经济体系中横插一根倒刺。1914年，巴拿马运河的通航又使得沿智利海岸线航行的

船舶大幅减少，进一步扼制了智利的经济。结果就是，在1910~1921年间，智利的经济以每年2%的速率萎缩和衰退。

在21世纪开端，智利仍然是一个以出口为主的经济贸易国，出口商品换成了铜。[7]这一转变很自然，铜相对于智利而言，就像天然气相对于玻利维亚，茶和花相对于肯尼亚，钻石相对于塞拉利昂和博茨瓦纳，还有石油相对于尼日利亚、沙特阿拉伯、安哥拉、刚果、哈萨克斯坦、阿尔及利亚、赤道几内亚、俄罗斯、委内瑞拉，还有很多其他国家一样。

智利的安第斯山脉地区有着十分庞大的铜储量，并且铜是智利换取想象力具象化产品的重要交换媒介。在2012年，智利出口铜带来的经济效益超过了400亿美元，这相当于每个智利男人、女人和小孩可以得到2 300美元，平摊到每个家庭上，则是6 900美元（每户平均三个人）。[8]

铜的价值何在呢？为什么世界上其他国家愿意为这种石头交付上亿美元呢？

虽然不如金，但铜是很好的导体，而且储量更大、价格更便宜。铜在有关电力的生产方面运用颇多，包括发电站、变电站、电线还有汽车的电力系统。

但是和所有矿物质一样，铜的用途并不是生来就为人们所知的。早期，人们用铜来做原始武器（但由于笨重且易变形，用铜制造武器显然不是一个很理想的选择）、工具，还有厨具。但如果是仅仅用于制造这些用品，我们对于铜的需求远不至于使其在今日被大量挖掘——这种需求的转变出现在19世纪，我们开始了解到电的用途，因此人们在全球范围内都试图找到更好的方法来挖掘这些绿石头。

法拉第的电磁感应亦是一个让铜成为畅销物品的切入口。当线圈在磁场中做切割磁感线运动时，会产生电流。此外，发明交流电的尼古拉·特斯拉以及电流大战中的两方：托马斯·爱迪生和乔治·威斯汀豪斯，都推动了电学的应用，从而让铜的地位相应有所提升。

电灯泡的发明使人们对电力的需求出现峰值。1802年，汉弗莱·戴维通过往铂里通电创造了一个一亮即逝的灯泡。1878年，爱迪生开始了他的研究，并且不久就和他的团队发现真空状态下的碳灯丝比任何他们试过的其他灯丝寿命都长。但是，直到1904年匈牙利人杰司特和汉纳门取得了钨丝的专利，电灯才得以广泛使用。从那以后，整个世界都亮了。

电灯、电动马达，还有其他重大科技让电力走出实验室，大量投入到了人们的实际生活应用当中。吸尘器、电冰箱、电视、收音机、搅拌机、烘干机、洗衣机、洗碗机、烧水壶，当然了，还有路灯和各类工业机器，使得人类社会以10年为单位高速发展：每年发电2 000万千兆瓦小时，[9]足以让马蒂·麦克弗莱（美国电影《回到未来》中的主角）回到未来上百万次，或者让一只100瓦的电灯泡亮228亿年——这大概是地球寿命的两倍。

那么以上所说的电力发展史，同智利的关系何在呢？其联系在于阿塔卡玛沙漠丰富的铜储量。最初这些铜和众多智利人一样，同法拉第和爱迪生的“电力梦”并不相关，但随着各类发明大量使用铜作为原材料，铜才慢慢变得重要起来，最终智利甚至可以把铜当作自己的贸易“人质”，以交换和销售它们为生。

再回到之前提到的“剥削”这个概念。现在我们能够清楚地认识到，智利在剥削着法拉第和爱迪生的想象力，因为正是这些发明家的想象力赋予了铜经济价值。

但是智利不是唯一剥削他国想象力的国家。如委内瑞拉和俄罗斯等石油生产国，正在剥削着亨利·福特、鲁道夫·狄赛尔、戈特利布·戴姆勒、尼古拉·卡诺、詹姆斯·瓦特和詹姆斯·焦耳的想象力——正是这些人促进了内燃机的发明，而没有内燃机，石油只是一种黑乎乎的胶状物。10

实际价值和经济收益之间的区别能够帮助我们更好地看待财富和经济发展的区别。事实上，这个世界上有很多富有却尚未完全开发的国家。我们将在第六章进一步探讨这个问题。但现在我们要明白，基于具象化想象力的观点，能够实现经济发展的，并不是消费实力，而是人们把梦想变为现实的能力。简而言之，经济发展不是购买力而是创造力。

然而正如你所想，具象化想象力实际上并不容易，之前提到的休和艾德的故事就是一个很好的体现。他们的创造平常人并不是没有想到过——这些技术在像《星球大战》、《终结者》和《黑客帝国》这类的电影中屡见不鲜，但是却从没出现在现实生活中。休和艾德十分特殊，不是因为他们创造了机械手臂或人脑芯片，而是他们开创了一条让幻想变为现实的路。真的是想起来容易，做起来难。

具象化想象力需要很多知识技术，休和艾德周围的同事和学生帮助他们积累和掌握了这些知识技术。所以，除了“机械手臂具象化了休的想象力”以外，我们也可以说，“休和他同事的脑神经具象化了应有的知识技术”。总结来说，这些知识技术才是最珍贵也是最难积累的。

不幸的是，人们常常把产品的价值和其中知识技术的价值混为一谈，或者弄混知识技术和一个好点子。后两者的区分并不难：我刚刚提到了发明机械手臂的这个点子，但你们肯定不知道怎么实现它。麻省理工学院媒体实验室的创始人尼古拉斯·尼葛洛庞帝曾在会议上和我们分享过一个故事，这个故事恰恰能够很好地体现后两者的区别。

这是一个关于凯文·杜伊的故事：来自塞拉利昂的小男孩凯文，用废旧物品制造了收音机和电池。人们对凯文在工程制造方面的技巧十分惊讶，他被请到麻省理工学院的媒体实验室，并且成为一名访问专家以示表彰。在项目结束的时候，尼古拉斯询问凯文将来有什么打算，凯文满腔激情地说，他要回到塞拉利昂建一个电池工厂。尼古拉斯在这里中断了故事并高声强调："这完全与他的责任背道而驰！"

仔细想一下，我们不难理解尼古拉斯的想法。凯文制造的电池诚然很值得嘉奖，但是和世界上那些大电池企业生产的电池相比，难免相形见绌。尽管凯文天赋很高，但是他却不知道那些使他成名的电池的价值何在——凯文的电池很酷，但凯文本身更酷；宝贵的不是制造了电池，而是通过废旧物品制造了电池，宝贵的是"创造"的能力。电池随处可见，但可以用废弃物制造电池的人却寥寥无几。

从具象化想象力的角度来看待商品可以帮助我们理解其中夹带的信息的重要性。复杂的商品并不仅仅是具有实际功能的原子排列，而是源于想象力。从某种意义上来说，这句话毫不夸张：尼古拉·特斯拉就曾说过在制造出实体物品之前，他就能完整地想象出那个产品。根据他的说法，他想象出的机器之后甚至不需要根据进一步的构建计划进行改动和修正。[11]实际上，尽管我们不是特斯拉，我们仍然时刻能够接触到由自己想象力具象化而来的产品：我们在写字、做饭、涂鸦的时候具象化想象力，如果加上休、艾德或者凯文那样的天分，我们还可以发明创造。

一个产品的结构和雏形远远不足以让我们完全了解它的商业信息，我们还需要知道这个产品的适用环境。产品并不仅仅是规规矩矩排列在一起的原子，重要的是某种特定排列所代表的特定功能。对休来说，机械假肢的功能是走路和跑步，而对艾德来说，人脑芯片的功能还尚未被开发出来。而产品的功能不仅取决于原子的排列方式，还与它们的适用环境息息相关。图书馆就是一个好例子。我们可以根据

标题、主题、出版年份、大小，或者语言来排列书籍，每一种排列中都包含了信息的处理，但不同的处理方式是效力于不同的功能需求，对于一个图书馆来说，主要是检索功能。例如，按主题和出版年份来排列可以让我们很快地找到最早记录量子力学的书；而按作者来排列可以让我们找到马克·吐温的所有著作；另外，按字母正序或倒序排列书籍，完成的都是一样的检索功能。

对于理解产品的适用环境，药丸的例子可能会更生活化一些。它们所携带的信息不多，有效成分通常是微小且结构相对简单的原子团，但却极有效用。为什么？为了理解药丸的价值，我们要考虑两个方面：药丸中信息的生产环境，以及适用环境。药丸具象化了创造者的知识、想象力和技术。创造者明确地知道这个小东西能够带来怎样的生理影响，而造成这种影响的过程通过药丸的适用环境被间接地体现出来。因为药丸的创造者需要知道如何生产合成它，所以实际上小小的药丸是大量知识、技术和信息处理后的产物。这就是为什么一粒小药丸那么值钱——它包含了在生产和使用过程中所涉及的所有知识、技术和信息。

把产品的适用环境纳入考虑能够帮助我们更好地理解产品的价值：它们不仅仅是信息的携带者，更是知识技术的携带者和传播媒介。下一章我们会试着探索产品的实用性，从而理解为什么人类会不厌其烦地试图具象化他们的想象力。我们将会认识到这不是为了体现制造力，也不是因为贪婪和自私[12]——鳄鱼和斑马不能发展起一个复杂社会不是因为它不贪婪和自私。所以，我们探索旅程的下一步就是搞清楚为什么我们想要制造商品，换句话说，为什么我们会不知疲倦地把梦想变为现实。

第五章
放大效应

我们吃着别人种植的食物，穿着别人做成的衣物，说着别人发明的语言，用着别人倾尽一生所钻研和建立的数学理论。我的意思是，我们一直在使用别人的成果。进行发明创造并将成果累积到全人类的经验和知识中去，是一件很了不起的事情。

——史蒂夫·乔布斯

在我演讲时，我常常会让那天早上用了牙膏刷牙的观众举手示意，我发现这是鼓动观众们积极参与到我演讲中的好办法，因为即使最腼腆的观众为了避免尴尬也会举起他们的手。我会打趣那些没有举手的观众，随后让那些知道如何合成氟化钠（牙膏中的化合物）的观众继续举手，不出意料，所有观众都放下了手。这说明一件产品不仅使我们获得了具象化的信息，也让我们直接运用制造产品所需要的信息，即是说，一件产品使我们有权直接使用在他人的神经系统里来回运转的知识和经验。

在本章中，我将探讨我们把想象力具象化这项能力的实际应用，其中既包括产品能够体现出人类实际应用的知识技术的能力，也包括产品作为一种想象、经验的累积，和人类共同的创造力的表现。

回到牙膏的例子中来，要知道，当我们买牙膏时，我们买的不仅仅是一管牙膏，更多的是牙膏发明者创造力的实用价值、制造牙膏所需要的关于化学反应的科学知识、生成氟化钠的技术、把牙膏装入管中并实现全球普及的方法，以及氟化物对牙齿和身体健康是否有积极

影响的相关认识。即使是牙膏这种基本生活用品，都能够让我们有能力去对我们素未谋面的人的想象力、知识和经验进行实际应用。

牙膏所带给我们的对于陌生人脑中知识和专项技术的实际应用的能力似乎具有“魔力”。然而，和所有其他东西一样，牙膏的魔力不只局限于此，其魔力也在于产品赋予了我们超越自身极限的能力——产品让我们变得更加强大，因此我们需要它们。

再比如吉他。结合了对毕达哥拉斯音阶的掌握和挑选木材以及制作方法上的专业知识，吉他让我们可以通过双手“唱出”旋律。如果是一把电吉他，那它的使用需要更多知识的掌握，包括了解如何用传感器捕捉音乐声波，以及这些声音如何被放大使得听众都能享受到音乐。这些都是制作音乐，起码是那些需要具有穿透力的电吉他，所必须具备的能力。然而，这些不一定是音乐家所必须具有的能力，音乐家通过吉他直接获得这些知识的实际运用。他的双手能“唱出”歌来，他因此而变得强大。

正如我所说，产品的“魔力”在于它们提高了我们的能力：飞机赋予我们飞行的能力，烤箱赋予我们烹饪的能力，牙膏赋予我们保持牙齿健康的能力。因此，人们渴求产品的一个重要原因便是产品通过给予我们获取存在于他人头脑里的知识技术的实际应用的能力，而提升我们自身的能力。然而，我们创造更加复杂产品的需求不仅仅是因为它们的实用性，也是为了一项产品的表达能力（讽刺的是，很多人都无视一项产品的表达能力）：我们希望将想象力具象化是因为它使我们的想法成为一个可以与他人分享的实体。我们不仅通过购买他人的产品来得到快感，我们更希望他人喜欢我们，需要我们，并且和我们怀有同样的感受；我们希望他人知道从我们的角度看到的世界是怎样的。正如任何一个严肃对待“灵感”的人所做的，我们把自己的想法通过实物具象化正是实现上述期望的最佳方式。

通过把我们的想法具象化，我们让他人得知我们的想法，否则，这些想法将会被禁锢在我们的脑海中。一个音乐家记录下她的音乐是为了完善她的艺术作品，同样也是为了把她头脑中的想法记录下来与他人分享，并以此来让自己的思想长存于世。如果没有这些音乐作品，她的才能就只能被禁锢在她的身体里，不可昭知。我们将想象力具象化的目的是为了把我们的想法复制下来并传递给其他人，具象化想象力因此成为表达创造力的重要途径。

但这是否意味着产品只是一种沟通的方式呢？不尽然。产品作为一种想象力的具象化，具有一定的表达能力，但这和我们能够清晰地进行口头表达的能力是不同的：产品可以赋予和提高我们叙述性语言无法带来的能力，不过谈论牙膏并不能使你的牙齿变干净，就像谈论汽油的化学性质不能给你的车加满油一样。正是因为牙膏给予人类对其中知识、技术和想象力的应用能力，而不是作为谈资，牙膏才有了实用性价值。相反，如果不能够进行具象化，那么对知识技术进行实际应用的能力就很难传递给人类。因此，把想象力具象化对于传递我们大脑中积累的知识的实用价值来讲是必不可少的。正是因为一个好点子的实用价值就在于我们是否能够让它成为有形的实体投入使用，所以一旦我们无法具象化这些点子，那么其中包含的知识和经验都只是空谈。再次强调，正是产品本身的实体性使我们更加强大，不论是可触摸到的还是数字化的。基于此，产品能够帮助我们传递一些诸如专业技术、想象力和知识的实际应用这些文字所无法传递的信息。

着重强调“产品能够提高人类能力”这一特质，可以让我们对经济有一个新的理解，让我们认识到经济并不只是对资源的谨慎管理，仅仅代表一个国家的财富，或单纯的是一个金融交易网络，而是一个通过实体化信息及其携带的特定性质，来增强人类对于知识技术的实际应用的系统。这种理解将经济视为一个知识技术的“放大器”，或是一个知识技术放大引擎：[1]一个复杂的社会技术系统，这个系统中的人群创造出一些物理实体，而这些实体又通过传递能够提高人群能力的信

息来做出回馈，人群再用更强大的能力来创造新的产品，以此往复，经济最终成为一个人类生产信息的大工厂。

同样，着眼于产品对于人类自身能力的提高，我们能够更好地对财富做出合理的解释。人们通过把有实用价值的知识整合成为可以传递的信息来提高自身的能力，并因此能够创造出相比于个体孤立更好的群居生活水平。这种因果关系，使我们能够把提高自身的能力和与财富相提并论的生活舒适程度联系在一起。如果没有经济作为知识和想象力的放大器，我们的生活将和其他动物毫无区别，最多达到一个人的孤岛生活水平。我们能够将想象力具象化的能力使我们了解到经济的复杂性的一个特点：通过赋予我们实际运用那些千百年来累积下来的知识技术的能力，经济市场带给了我们财富，但是市场并非让我们更富有，而是让我们更加明智。

19世纪物理学家迈克尔·法拉第的事例能够更加清楚地阐释经济扩大知识的力量。法拉第成就众多，其中就有对日后发电至关重要的电磁感应定律。不满足于单纯的理论，法拉第通过把定律应用到实体上，得以将想法具象化——法拉第发明了第一台电动机，随后被特斯拉改进并完善。“前人种树，后人乘凉”，当我们用吹风机烘干头发，用吸尘器清洁地板，或是用调和机制作台克利鸡尾酒时，我们实际上是承蒙法拉第——一位我们这一代乃至祖父母那一代都从没见过的人——的恩泽。

经济其实是对于建立并累积在法拉第脑中知识的实际应用的放大器，而又受到了阿达·洛芙莱斯的启发。[2]因此，法拉第的灵魂，与洛芙莱斯、特斯拉、爱迪生、麦克斯韦，以及很多通过他们自己的发明为人所知的伟大科学家们一起，长存于所有的电子产品中。这样看来，我们过于天真，把世界看待得过于简单——这个由产品构建的世界实际上隐含很多社会联系；从一个十分隐喻的角度来说，我们的世

界充满着灵魂，或者说，充满着那些前人创造并遗留下来的、具象化成为实体或者被人类本身所携带的信息。

总体来说，三个主要原因可以解释我们把想象力具象化的能力给人类自身带来的益处。首先，它帮助我们创造了一个“伪天才”的社会，这个社会中每个人的能力都远远超过他们知识所能及的范畴。这都归功于我们从实体化知识中得到的能力的提升。其次，具象化想象力实现了对于知识进行实际应用的能力的共享。如果无法将想象力具象化，那么我们几乎难以表达创造力，而知识的实际应用也只能被禁锢在个人脑海中。最后一点，产品所带来的提升使人们尽情表达，并且给予了人们新的能力：这种综合创造力正是人类具象化想象力所带来的。如果吉米·佩奇需要自己去开采金属并制作吉他，那么我们或许无法享受到他的摇滚巨作《通往天堂的阶梯》（Stairway to Heaven）；如果欧内斯特·海明威需要自己制造笔、纸并发明印刷术，那他或许也就无法完成《老人与海》；同样的道理，如果我需要自己组装我的电脑，你也就不会现在看到这本书。因此，经济作为知识放大器的力量让我们有更多空闲去创造新的产品，而这些产品将会反过来进一步提高我们的能力，并提供我们新的表达形式。

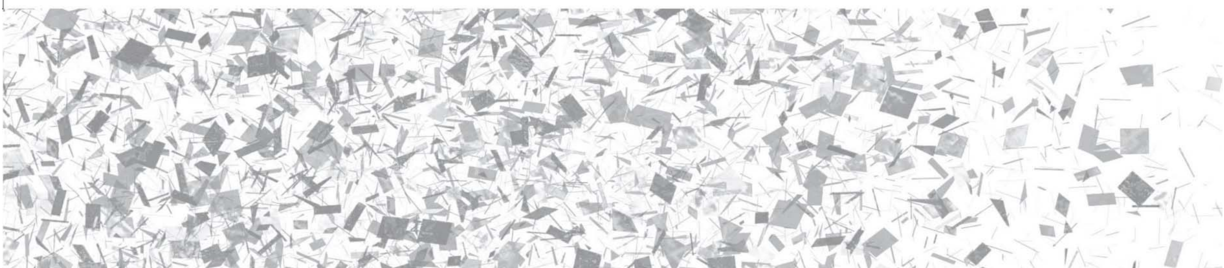
我们能力的不断提升也造成了社会整体的复杂性。为了更好地阐述这个看似牵强的关系，让我们撇开人类，讨论一下诺伯特·维纳在他1950年出版的《控制论》中提出的蚁群的例子。[3]

“控制论之父”诺伯特·维纳发现，具象化外界信息的能力并非人类所独有，而比如蚂蚁这种群居动物，就有和我们很像的，在所处环境中生产和存储信息的能力。蚂蚁并不聪明，但是它们以信息素的形式储存信息的能力使得整个蚁群变得精明，使得蚂蚁能够解决运输方式及路径、建设、通风等难题。而不同于蚂蚁的是，人类留下的是将想象力具象化的产品而非信息素，比如扳手、螺丝刀、洗碗机、金字塔、椅子和啤酒瓶。在人类社会中存储虚拟信息的能力，是我们创造

一个比蚁群更加复杂的社会经济体系的关键。我们将信息具象化不仅是为了交流，更是为了通过实体化产品来实际应用我们的知识、技术和想象力，进而提高我们的能力。

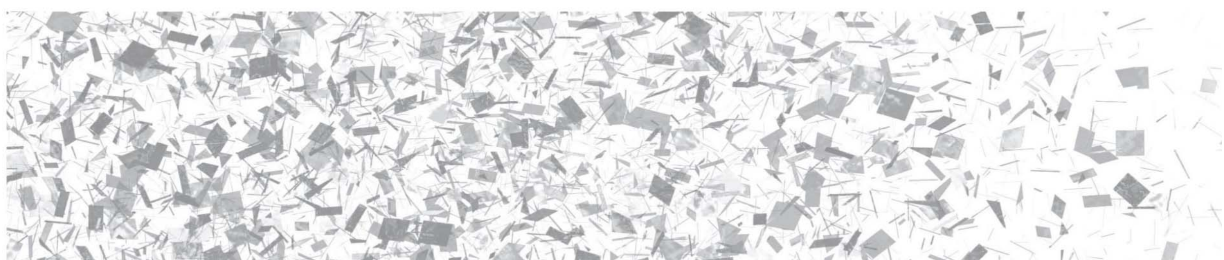
***

本章中我们了解到产品作为一种信息的实体化，是如何携带着对于知识、技术和想象力的实际应用能力的，接下来我们将探索限制创造这些产品的因素。我们将会看到，这些因素也使得经济体系中信息的增长更加不均衡，更加艰难。



WHY INFORMATION GROWS

第三部分 技术的量化



2013年，前巴塞罗那队主教练、现任拜仁慕尼黑主教练的何塞普·瓜迪奥拉到访麻省理工学院媒体实验室。瓜迪奥拉此行是接受了他的朋友，同时也是麻省理工学院的财务主管伊斯拉埃尔·鲁伊兹的邀请。我在与伊斯拉埃尔、向伊藤穰互通邮件后，欣然负责了接待瓜迪奥拉的工作。

瓜迪奥拉的参观计划很容易安排。媒体实验室里边，我团队和其他团队中的学生都十分激动地想给足球明星展示自己的成果。然而，因为其他院系的学生也想见他，所以我决定组织一个简短的问答会。就在这次问答中，一个学生问道：“如果我们组建一个机器人球队，你会来当这个队的教练吗？”瓜迪奥拉的回答很短很巧妙，以下是我的转述：“训练队伍最主要的困难不是想出一个战术，而是把这个战术注入球员的头脑中。我觉得对机器人来说这不是一件难事，所以我会婉拒你的邀请。”

瓜迪奥拉的回答精辟地总结出了团队工作的主要挑战。多年的训练经验告诉他，最困难的事不是想出比赛战术，而是把战术传达给球员。作为教练，瓜迪奥拉的困难不只是简单的交流问题，很明显，他不希望球员只是死记硬背住他的战术。他希望的是，球员能够在激烈的比赛中执行他的战术。他的计划必须被球员深度内化，而这也是球队训练困难所在。

实际上，瓜迪奥拉的问题涉及物质具象化，虽然在这个情景中是使知识技术具象化于球员身上，而非信息具象化于原子。产品都是由物质和信息组成的，同样，体育、公司和音乐团队是由具体体现知识技术的人组成的。知识技术具象化于球员的神经系统中，但它也具象化于团队这个整体上，因为球员需要共同消化信息以进行配合，完成战略进攻与反攻。然而，具象化到球队的知识技术很大程度上影响了球队的多样性，因为守门员和前锋（基本上相当于乐队中的鼓手和吉他手或者橄榄球队中的四分卫和进攻线）所擅长的各不相同。这就意味着，团队是把球员们不完全相同的知识技术相叠加。同时，这种多样性也使团队可以完成个体无法完成的任务，比如足球队赢一场比赛或者乐队表演贝多芬的交响乐。这种对知识技术而不仅仅是劳动的分类，使得人际网络具有出色的能力，比如球队赢得冠军联赛的能力。但是，正如我们在这章和下一章将会看到的，积累知识技术不是易事。最终，这道坎会让信息增长和经济发展变得十分困难。

我们即将在下文中看到，经济发展的挑战不仅受制于物质和信息的二元性，还受制于系统和计算的二元性。社会环境中，后者就是人际网络及其处理信息的能力之间的二元性，也就是我们所熟知的知识技术。

经济系统和其他自然系统一样，有着生成受制于系统计算性能的信息的能力。对经济中的信息增长来说，经济体的计算性能也需要提高。然而，提高经济系统的计算性能并不简单，因为它受制于处于人际网络中的人们具象化知识技术的能力。所以，要理解经济中的信息增长，我们需要理解限制人们形成积累大量超过个人能力的知识技术的人际网络的原理。我会用接下来的三章来描述限制我们形成网络，以及限制我们把知识技术具象化于使得信息增长的人际网络的困难。

第六章
属于个人化的时代

感谢我们使想象变为现实的能力，让我们的生活水平持续上升。正是我们这种使想象成真的能力，让我们能够在深夜阅读，把水果和蔬菜放在冰箱里保持新鲜，在成千上万的网络资料中搜索，在一天之内穿梭到地球的另一端。然而，这个让人类做到种种不可思议的事情的、创造复杂产品的能力，在世界上并非是平均分布的。世界上有无数的产品，可是只有一些国家和地区知道如何制造它们。我们使想象成真的能力，在地球上实际上是如同星星般四散分布着的。可这是为什么呢？为什么制造冰箱、喷气式发动机、记忆装置的能力只集中在世界的一小部分地方？为什么很多国家都能够生产、出口鞋子，而只有很少的国家能够生产、出口直升机呢？是什么造成了这些差距？[1]答案很简单：这种让幻想成为现实的能力是很难培养的。而且在国家进入市场之前，还要先搞清如何生产已经存在于市场上的那些产品。[2]

这一步是非常关键的，因为一些过于乐观的经济模型，往往假设市场需求和动机足以刺激任何产品的生产。市场需求可以激励中间商和贸易商，但对于制造者来说没用。而制造商们，也就是真正提供可供交易的产品的人，还需要更多的动机去制造产品。他们需要知道到底如何去做。

实际上，现实世界中，制造产品是件很困难的事情，因为它需要知识技术。所以，想要理解“为什么人类的创造力在世界上并不是平均分布的”这一问题，我们要先明白，为什么积累创造复杂产品所需的知识技术是困难的。

就像我们之前讨论过的，复杂的产品体现并强调了知识技术的实际运用。因此，创造者需要获得这些知识技术的“原始”形态——也就是人们所知道的知识，而非实际运用在产品里的知识。当某种知识包含的内容无法用言语表述时，它们在学术界就被称作“隐性知识”。正如匈牙利学者迈克尔·波兰尼巧妙阐释的那样：“我们所知道的比我们能表达出来的更多。”[3]

人类所拥有的知识与其实际运用之间的差距告诉我们，在那些获取知识技术困难的地方，创造产品也将会更难。假如获取知识技术很容易，那么人们就能轻易地掌握任何可以使未知的幻想化为现实的技术。在这样的世界里，对任何一群人来说，制造任何产品都会变得相对容易。国家之间创造能力的差距也会很小，甚至不存在。然而，在当今这个知识技术深陷社交关系网中而且难以复制的世界上，我们可以预见，不同国家创造能力的差距会非常大，因为一个国家所具有的知识技术会反映在这个国家能够制造出的产品中。

但是积累知识技术到底有多困难？所有的证据都指向一个事实，这个事实就是在我们的世界中，知识技术比那些我们用来实现其实际用途的原子更加“重”。信息可以很轻易地在包含它的媒介中流动，不管这个媒介是物品、书籍还是网页，但是知识技术被限制在个人以及人与人之间形成的网络中。知识技术是“沉重”的，举个简单产品的例子，就拿手机电池来说吧，要想把韩国科学家们所掌握的关于锂电池的知识，传授给生活于安托法加斯塔和阿塔卡玛的矿工很难。相比之下，把阿塔卡玛沙漠的锂原子带到韩国则要容易得多。我们的世界中，不同国家之间化想象为现实的能力有着显著的巨大差异。而这种差异的出现，是因为各个国家的人们所具备的知识技术不同，同时，对于个人而言，积累知识技术也并非一件容易的事。但是为什么储备那些能化梦想为现实的知识技术很困难呢？

从个人层面来说，积累知识很困难是因为学习是一个积累经验的过程。也就是说，我们主要是通过练习实践来积累知识技术，工作经历就是一个例子。这种把学习看作积累经验的过程的想法，很早之前就在社会科学和经济领域中出现了。正如教育家和社会学家沃尔特·鲍威尔所说："大部分工作不是基于智力资本就是基于制造技术。资本和技术都需要通过多年的教育、训练和经验来慢慢磨炼。许多这种知识密集型的产业，例如文化产业、科学研究、设计领域、数学分析、计算机编程或者软件开发以及一些专门的业务，并不需要昂贵的外围资源。这些产业基于他人拥有相似或者互补技术的能力。这些专业技术都包含了一种难以被篡改的隐性知识。"[4]

要想理解知识或技术的默认性，还有其与经济生活的相关性，就想象你要组织一个活动，这个活动需要找一个音乐人。如果书本里能包含产品和业务所代表的所有技术，那么你可以通过在街上随便找一个人然后给他一把吉他和几张乐谱来解决问题。虽然这样的节目可能会很有趣，但是这个人弹出的曲子悦耳动听的概率却很小。随便在街上找一个人来做音乐人这种方法并不明智，因为尽管书上的知识可以帮助我们加快学习知识技术的速度，但是知识技术的积累并非从书中来。举个例子，一本书可以告诉我们如何摆空手道的架势。但是如果你关于空手道的知识都只是来自读过的相关书籍的话，我并不建议你直接进入终极格斗赛事的拳击场。专业知识，具体点来说，主要寄居于人类的神经系统。音乐人弹吉他的本能、画家画画的流畅、卡车司机倒车的娴熟，这些都不是从书中学来的。

获取一个人脑中的知识并不是一件容易的事，因为学习既是经验性的也是社会性的。[5]说学习是社会性的意思是指人们是从其他人那里学习知识的：孩子向他们的父母学习，员工向他们的同事学习（我希望如此）。而学习的社会性本质使知识技术的积累变得有地域倾向。人们向他人学习时，如果他们想接触相关领域，相比没有相关经验的人，向该领域有经验的人学习更容易一些。例如，如果没有向其他管

制员学习相关事务就成为空中交通管制员是很难的，就像没有在医院实习过就想当外科医生一样难。出于同样的原因，没有与曾经制作过轮胎或者电路的人打过交道，就学习制造橡胶轮胎或者电路的专有技术也是很困难的。[6]最终，学习的经验性和社会性不仅限制了一个人所能获得的知识和专业技术的范围，还使知识技术的积累限制在人们居住范围内已有的知识之中。这就暗示了知识和专业技术的积累是有地域倾向的。

从社会角度和实际操作来看，学习证明了一个人累积知识的力量和能力是有限的。总的来说，这个限度使知识的获取和累积变得更加困难，因为人类需要将信息细化为碎片以便有效存储。

知识之所以变得很难有效累积，不只是由于信息细化需要更多步骤、涉及更多个体，更是因为在一个可以重组已分解的信息的结构下，会出现如何连接个体这样的组合问题。这个结构就是网络。所以，我们的综合学习能力受限于人类对于信息的无限分割能力和有限连接能力。前者强迫我们在接受信息的同时分割它们，而后者在我们连接信息的时候制造障碍。

为了简化讨论，我们将一个人的神经系统所能接收的最大信息量定义为一个度量单位，称之为“人比”（personbyte）。

信息累积量小于一个人比的信息累积只受制于个体局限性（包括个人经历和社交学习能力），相反，大于一个人比的信息累积会受制于人类总体的局限性（包括有限的分割和组合信息的能力）。[7]我们假设一个人只能累积一个人比的信息，如果这个人想要获得多于一个人比的信息，他/她就需要其他人的帮助。此外，组成一个能够创造复杂产品的团队需要在相对和谐的社交网络中进行知识储备和累积。

为了更好地阐明累积少量信息（小于一个人比）和大量信息（许多个人比）的区别，我们回到之前举的有关音乐的例子，并且将音乐

人替换成一支乐队。如果随机地在街上找一个人来做音乐人是个糟糕的方法，那么随机地找几个人组成一个乐队更加不可行。这是因为一个乐队比单个音乐人演出更具复杂性。一个成功的乐队不仅需要个体音乐人熟知他/她所负责演奏的乐器，还需要每个个体音乐人之间的相互配合。乐队演出不是简单地将音乐混合在一起，而是需要细心的编排和组合。就如同足球队一样，一个乐队的成功需要建立在乐队成员之间的深入了解和沟通之上。同样的，信息的有效累积也需要一个团体的成功合作。假设这个团体有4个成员，那么信息在4个人之间的整合和累积要比这4个成员单独接受难得多。为此我们需要多做很多功课，例如多花时间让他们互相配合、互相练习或者试着规范他们每个人的行为动作。人类建立关系网络的时候，还会遇到其他社交和经济上的困难，例如缺乏共同语言和信任感。这一点我将在后面两章里更详细地介绍。我们现在唯一需要知道的，是在这些困难增加了人与人之间建立关系的难度的同时，也限制了人类用于获取信息和知识的网络。然而，如果人们能够一起合作克服这些障碍，社交网络反而会很有利于信息累积。一个和谐的社交网络和一群被分割的个体之间的区别就好比一个互相合作的甲虫团队和各顾各忙碌的甲虫，或者说一群共同合作完成“阿波罗登月”计划的科学家们与一群散落的科学工程研究生。[8]把人类聚集在一起不会百分之百产生和谐的社会合作关系，但如果能够产生的话，我们可以达到让所有人都骄傲的成就（当然，某些情况下，也会令人蒙羞）。

***

我们从为何创造复杂产品的能力有地域性差异开始讨论, 并指出这个差异说明了制造复杂产品的艰难。接着我们探讨是什么让制造复杂产品困难重重，我们注意到是制造这些产品所需的知识技术难以累积造成的。个人层面上，学习的经验性和社会性减慢了知识技术的累积。[9]更重要的，这个性质把一个人能累积的知识技术限制在了人比中。“人比”是一个量子化的极限，因为它代表了一个知识技术被细分

的基本单位。“人比”表明了大量知识技术的累积受制于社会、经验式学习的个体局限性，以及我们把大量知识技术切割再分配到个体网络中的需求所带来的总体局限性。

当然，学习的社会性和经验性并不意味着基因与我们累积知识的能力无关（即使在最好的社会背景下我们也很难教会金鱼弹钢琴）。对同卵双胞胎和异卵双胞胎的研究已将基因和一些行为特征联系了起来。[10]其中包括我们能自然联想到的一些特征，例如个人对政党的偏好，参与政治的可能性。[11]个人音乐能力的高低是另一个不仅受技术积累，还受基因组成影响的例子。近年来，对于同卵和异卵双胞胎的实验已经证明了基因能帮助我们解释音乐能力的高低：一方面基因能影响一个人练习乐器的意愿，另一方面它能影响我们所谓的音乐天赋。[12]

基因能调节个人学习能力的事实并不影响我们故事的核心，因为在大多数群体中，庞大基因多样性能保证民族、国家和宗教之间的差异无法被基因因素所解释。莫扎特的天才，即便与基因有关，也并不能说明所有的奥地利人都有音乐天分，或者没有奥地利人是音乐盲。所以，个体间的基因差别不能被用来曲解国与国之间的能力和力量差别，一个国家巨大人口中的基因差异会有相互抵消的趋势。[13]

人比这个概念的美妙之处在于，它忽略了种种限制知识技术积累的因素的背后本质，只关注“个人的积累是有限的”这一事实。当我们接受了个人的能力是有限的，我们就得接受，只有通过汇集一批小于“人比”[14]的信息才能获得大量知识技术。最终，无论是什么因素导致的分块聚积，这样的分块都会让知识技术的积累变得越来越困难。

但这就是故事的结局吗？“人比”的局限是迫使我们分割知识技术并且限制我们积累其能力的唯一基本临界值吗？或是当知识技术远超一“人比”时，就会出现其他临界值？

我们当今的现实是由远远大于一人比的知识技术构成的。所以，接下来我们会探索支撑着超过一人比限制值的知识技术的，甚至大于公司积累能力的结构。这会帮助我们理解，我们的知识技术是如何同时被个人和人们组成的网络所分割的。理解量子化给知识积累带来的困境，会帮助我们理解为何我们生产复杂产品的能力只局限在几个地方，进而帮助我们理解各个国家在不同经济发展阶段的本质上的区别。

第七章
有偿的联系

福特公司的胭脂河工厂被普遍认为是工业化的巅峰体现。胭脂河工厂在1927年竣工时，拥有93栋建筑和1 600万平方英尺 注 的工厂区域。这大概是纽约中央公园面积的一半！胭脂河工厂能容纳超过10万的工人，它能做到在生产链的一端送进铁矿的同时，在另一端输出成品车。可以说，它是将“人比”概念发挥得淋漓尽致的殿堂。

但为什么胭脂河工厂会如此巨大？经典的答案是用规模效应和劳动分工来解释的。规模效应是指每个产品的成本，随着我们制造产品的数量上升而减少。简单来说，就是为一个人和一家五口做饭的区别。为五个人做饭并不等于五倍于给一个人做饭所花的心血和原料。另一方面，亚当·斯密的劳动分工也是可以帮助解释规模效应的机制之一。分工是指与其让每个工人负责一个别针或一辆车的全程制造，倒不如让他专注于制造一个小部件，这样反而更有效率。但分工只有在项目足够庞大时才能体现出价值。比如，我们不需要为一个别针而分工，在制造成千上万个别针或者汽车时才需要。于此，劳动分工和规模效应就能解释为什么福特想要一个胭脂河工厂这样巨大的工厂。但它们不能解释为什么这种规模的工业中心是为制造车辆而诞生的，而非别针。为了解释别针和汽车工厂大小的区别，我们需要引入另一个假设——知识技术量子化。这个假设告诉我们，比起造别针，造车辆需要更大的知识技术网络。

我们绝不是指一个汽车厂需要与工厂工人人数或者任务数量相等的“人比”，相反，我们可以说，一个汽车工厂工人的数量是制造车辆所需的人比的宽松上限。亨利·福特将福特T型车的生产分解成了很多

越来越小的任务——准确来说是7 882个。[1]制造一辆T型车的任务数量要大于制造一个别针的任务数，但这不意味着制造一辆T型车需要7 882“人比”的知识技术。简单解释来说，7 882“人比”的知识技术是把一辆车从原料，比如铁、大豆、橡胶和想象力，变为成品车这一生产过程中所需知识技术量的宽松上限。[2]

把胭脂河工厂制造汽车的任务数量当作所需“人比”量的上限是因为有些任务非常简单，一个人就能精通好几项。此外，许多任务相互关联，为一项任务累积的知识技术可以被应用到其他任务中去。用音乐家的例子，我们可以说，会玩吉他的人学弹尤克里里就会更容易。所以，要想正确计算一个网络中的人比数量，就应该减去各个个体掌握的知识的重叠部分。给车安装前灯和尾灯是两个不同的任务，但执行这两个工作不需要双倍的知识技术。

其他因素也会影响生产网络的大小。“人比”理论表明，更多的知识技术需要更大的网络来储存，但它没有告诉我们为什么我们的世界没有充斥着比胭脂河工厂还要大十几二十倍的超级工厂。自福特引入T型车后，产品的复杂程度难道不是与日俱增吗？胭脂河工厂这样的超级工厂的有限扩张，意味着其间存在着一种限制公司网络扩大的机制，这种机制使得我们倾向于把生产分解到企业网络中去。这也表明了第二个量子极限的存在：我们称其为“企业比”。它和“人比”相似，不过它是指知识技术在企业而非人群中的分配。[3]

限制公司大小的因素——暗指第二个量子极限——已经在交易成本理论或新制度经济学这一学术领域中被广泛讨论过了。此外，限制人类组织——不单是企业——的大小的因素也被社会学家、政治学家和研究社会成本与社交关系网的经济学家广泛研究过了。我会在这一章中回顾一些新制度经济学的要点，并把关于社会资本理论的讨论留到下一章。

交易成本理论，或者叫新制度经济学，是一个研究交易成本和人类发展出的管理交易机构的经济学分支。简单地说，它研究的是经济活动的成本和人们组织管理商业活动的方式。

交易成本理论可以追溯到1937年罗纳德·科斯发表的《企业的性质》这一论文。[4]当时还是一个年轻学者的科斯意识到，那个年代盛行的对经济的描述忽视了一个对他来说显而易见的问题：交易是有成本的。作为伦敦经济学院的学生，科斯参加了一个由新晋商业教授阿诺德·普兰特组织的研讨会。[5]在那里科斯听到了一个与其常识相悖，并会伴随他一生的对经济的描述。以下是阿瑟·索尔特爵士的原话："正常的经济系统会自己管理自己。"

借用爱因斯坦的话，我们可以说科斯认为索尔特对经济的描述不是简洁，而是简单得过分了。[6]在他1937年里程碑式的论文中，科斯指出，经济中的许多规划并非被价格系统调节，而是发生在企业内部。他还指出，其对经济的描述忽视了一些显而易见的方面，比如员工从企业的一个部门调到另一个部门并不是对价格系统做出的反应，而是对经理命令的反应，否则，起草和执行合同就会有太多不便。科斯表示经济交易不是那么简单的，而且经济并不像他的同事设想的那样有流动性。

科斯认为，经济并不是由流动、毫无阻力的市场交易构成，而是一片有意识的力量组成的岛屿，彼此隔离，也与价格机制的波动相隔离。科斯强调，企业是有阶级的，企业员工的交往常常带有政治意味。所以科斯认为，雇用一个员工是一个让人做尚不明确的任务的合同，因为在员工被雇用时还不知道接下来的几个月他会干什么。科斯把他大部分的学术生涯倾注在了解释这些岛屿力量的存在和界限上。他的回答就成为企业交易理论。

科斯对企业界限的解释聪明而简洁。它是基于经济交易代价很高，并非像价格机制的支持者想的那样有流动性这一想法。通常，市场交易需要面对协商、起草合同、建立审查、解决争端等一系列问题。这些交易的成本能帮助我们理解企业的界限。据科斯所言，要想理解这些集中谋划的岛屿，也就是企业，一种凑合的方法便是寻找企业内部交易成本与市场交易成本相等的交点。当外部交易的成本比内部交易成本低，企业便不再壮大，因为从市场买东西就会比他们自己生产更便宜了。

我这里展示的是极简版本的科斯理论，这是为了帮助我们更好理解存在着限制像企业这样大小的网络的基本力。因此，这些网络能积累的知识技术是有限的。[7]此外，它还告诉我们联系和网络的主要关系是：联系越便捷，网络越庞大。

更重要的是，公司的有限大小告诉我们，要分享比我们能形成的网络更庞大的知识，则需要公司与公司间形成网络。所以，科斯也帮我们解释了为什么像胭脂河工厂这样的工厂没有遍布世界。

个人电脑便是一个公司网络，而非某一个公司的结晶。即便个人电脑有着识别度高的品牌，一个成品电脑的不同部件还是由不同的公司设计生产的。即便是在加利福尼亚州设计的苹果电脑，也有部件（比如显示屏）是由其他生产商设计生产的，其中包括苹果公司的宿敌：三星。[8]事实上，史蒂夫·乔布斯回到苹果不久后便将设备的生产外包，使其在很大程度上依赖着来自其他企业的技术。[9]东芝发明的一个小型硬盘驱动器让iPod（苹果便携式多功能数字媒体播放器）的出现成为可能。大猩猩玻璃屏幕是纽约州北部的一个玻璃制造商——康宁公司的点子。苹果公司产品的情况在其他现代产品中也成立。事实上，不管你的电脑品牌是什么，它都可能是格式化电子产品的集合：英特尔或者AMD的芯片驱动；昆腾、三星、希捷或富士通制造的硬盘；金士顿、海盗船或必恩威做的存储器；以及一个D-Link、TP-Link

或Netgear做的网卡。这些品牌和公司可能都不是在你的电脑上印上标识的企业。这便意味着电脑是由一个公司网络而非单个公司制造的。

然而，一台电脑中包含的公司网络比我们目前为止描述的还要大。一些电脑和它们的操作系统是一个品牌（比如Mac）,而使电脑有趣实用的应用则来自另一些品牌，这些制作应用的公司范围极广，从Adobe这样的大公司到制作了像《手指画线》、《机械迷城》、《粘粘世界》这些精良游戏的小型独立游戏工作室都有。[10]最后，我们中的大多数用电脑上网，所以最终这些应用和软件变成了访问如脸谱或者推特此类社交网络、在《纽约时报》上读文章，或者玩大型多人网游（如《魔兽世界》）的前提条件。

制造世界上最复杂产品所需的知识量之大和各个公司有限的知识技术容量解释了，为什么我们打破了“公司比”的限制和为什么需要公司网络来制造复杂产品。然而，它们没告诉我们在我们越过“公司比”这一临界值后，积累知识技术的过程是否会变得愈加艰难。

根据科斯的交易成本理论，公司网络保存知识技术的能力由联系成本决定。也就是说，一方面，当制造维持联系所需的成本相对便宜，创造大公司网络和积累大量知识技术也会相对容易；另一方面，当成本相对高昂时，联系公司就会变得困难，创造能积累大量知识技术的企业和人的网络也会变得困难。简单来说，当联系代价高昂时，我们的世界便四分五裂。所以，为了回答公司网络是促进了还是妨碍了知识技术的积累，我们需要了解更多关于公司间联系的成本的事情。

我们在这条议论中所面临的问题是：公司有许多种可以合作的方式。所以，在公司互动方面一概而论是过度简化。一些公司间的合作十分简单，比如从一个清单中订一个墨盒。其他的则非常复杂，比如在建造一个新工厂中的合作。此外，许多公司合作都是基于社交关系

网的，这一情况我们会在接下来几章讨论。所以，探讨联系成本并不是件简单的事。我们只有在充分限定了联系的定义后，才能对其成本进行合理讨论。

罗纳德·科斯的学生奥利弗·威廉姆森明白，商业链接有不同大小。他详尽描写了公司之间合作的成本，以及人们发展出的用来维持这些链接的机构的关系。[11]威廉姆森通过两个坐标轴将链接分类。在第一个坐标轴上，他将交易通过频率来区分，分为反复和偶尔。在第二个坐标轴上，他把交易通过特征来区分，分为非特定和特定的。[12]

要理解威廉姆森对世界的解析，就想想建立一个商业链接所需的人工和文书工作。举个例子，你在当地的咖啡店买一杯拿铁就需要少量的文书工作（一张收据）和收银员及咖啡师的几秒钟时间。完成这个任务没有中间过程。用威廉姆森的话解释，买咖啡是一个非特定的、反复的交易。而买一所房子这个交易需要大量文书工作。一所房子是一个相对特定的购买，所以合作就会由除买方、卖方之外的第三方机构促成，比如提供贷款的银行、房屋检查员、房地产经纪人和房地产律师。用威廉姆森的话来说，买房是一个偶尔、特定的合作，这意味着它是一个需要其他机构监护的合作。最后，再考虑一个长期、高度特定的交易。比如，一个服装商想和一个制造特殊纽扣——也许是金银质小菠萝状纽扣的厂商建立长期合作关系。对威廉姆森而言，这是个特定的、反复的合作。这种合作中，与供应商发展关系比外部机构的参与更重要。[13]

威廉姆森用他的分类方法，把经济交易和最适合它们的管理结构联系起来。对我们来说，我们该对交易分类更感兴趣，不是因为我们想了解当中的参与机构，而是因为我们想知道链接的成本。而这些成本会影响我们积累知识技术的网络的形成。

科斯告诉我们，便宜的链接能形成更大的网络。“人比”理论告诉我们，我们需要更大的网络累积知识技术。现在就让我把这二者融合一下吧。

我们先来考虑最简单的链接——市场合作。在威廉姆森看来，这些链接，例如买一杯咖啡、一把铲子、一个灯泡或者一块树脂玻璃，是非特定的。在过去的几十年，市场交易成本下降的一部分原因是交通和交流技术的发展（见图7–1~图7–4），所以我们应该能预料到，市场链接组成的网络变得更有流动性、更密集了。举个例子，不计通货膨胀的影响，在20世纪，运送货物的成本下降了90%。与此同时，3世纪前电报还是法国贵族用来互相传信的奇妙装置，而现在，长距离通信的发展已经使视频通话变成了青少年间再平常不过的消遣。[14]长距离市场链接随着其成本下降而增加，这会相应地增强我们在市场合作构成的网络中积累知识的能力。

市场合作的成本会直接因关税而削减，因航运和通信的发展而减少。但其他因素，比如统一规格的出现，也减少了市场合作的成本。[15]电脑市场中统一规格的例子包括VGA接口（视频传输标准）、Wi-Fi（无线方式互相连接的技术）和USB接口（一种串口总线标准）。这些规格让厂商得以制造无缝连接的产品，不需要在不同制造商间切换。事实上，USB接口是由英特尔、康柏、IBM、微软、NEC和北电网络公司合作发明的，并以非常便宜的规格许可使其推向了大众。

因为这些制造商知道形成一个标准界面的体系的好处要大于他们可以从昂贵许可中获取的个人利益。而价格高昂的许可还会限制技术流通并造成平台战争。[16]

标准规格在现代社会流行是因为它减少了使用者和公司的互动成本。因此，规格和市场共同进化其实并不奇怪。[17]许多人都会吃惊地发现，仅仅在几个世纪前，一些简单的重量、体积测量单位如磅、品

脱都还不是统一标准的。在不同的城镇即使使用同一个词，一磅的重量都是不同的——有时候相差甚至高达四倍。[18]但是当城市间开始相互交易时，政府也开始在更大的地区范围内规范标准，统一规格的使用便不断增长。规格和市场的共同进化很容易理解，因为任何一个从其他城镇的商贩那儿买了一蒲式耳商品的人都会希望蒲式耳在两个城镇所代表的重量一样。所以，贸易的可能性产生了标准化的动力，并有助于热衷于使用标准的政府的扩张。

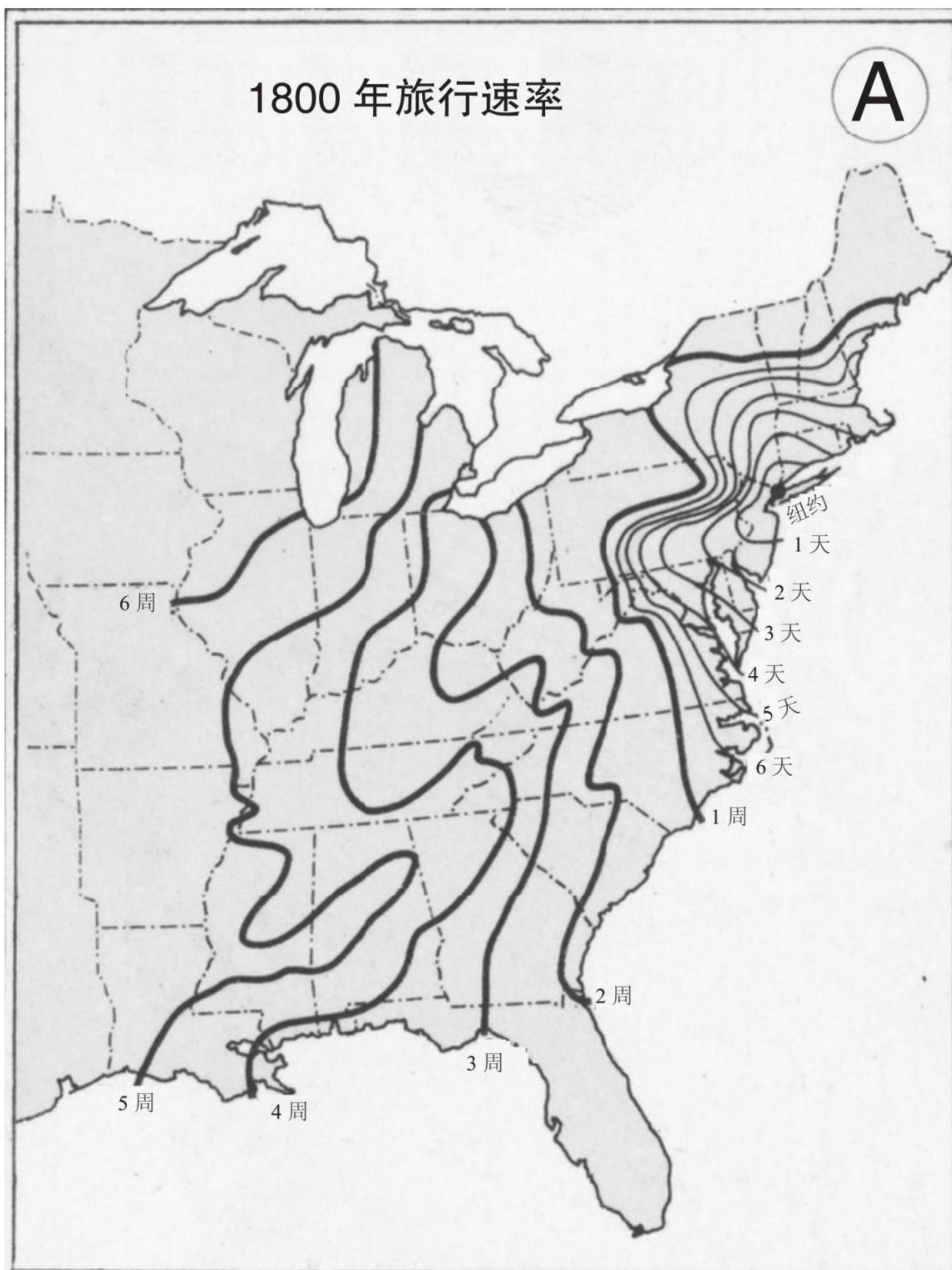


图7–1 1800年以纽约为起点的旅行速率

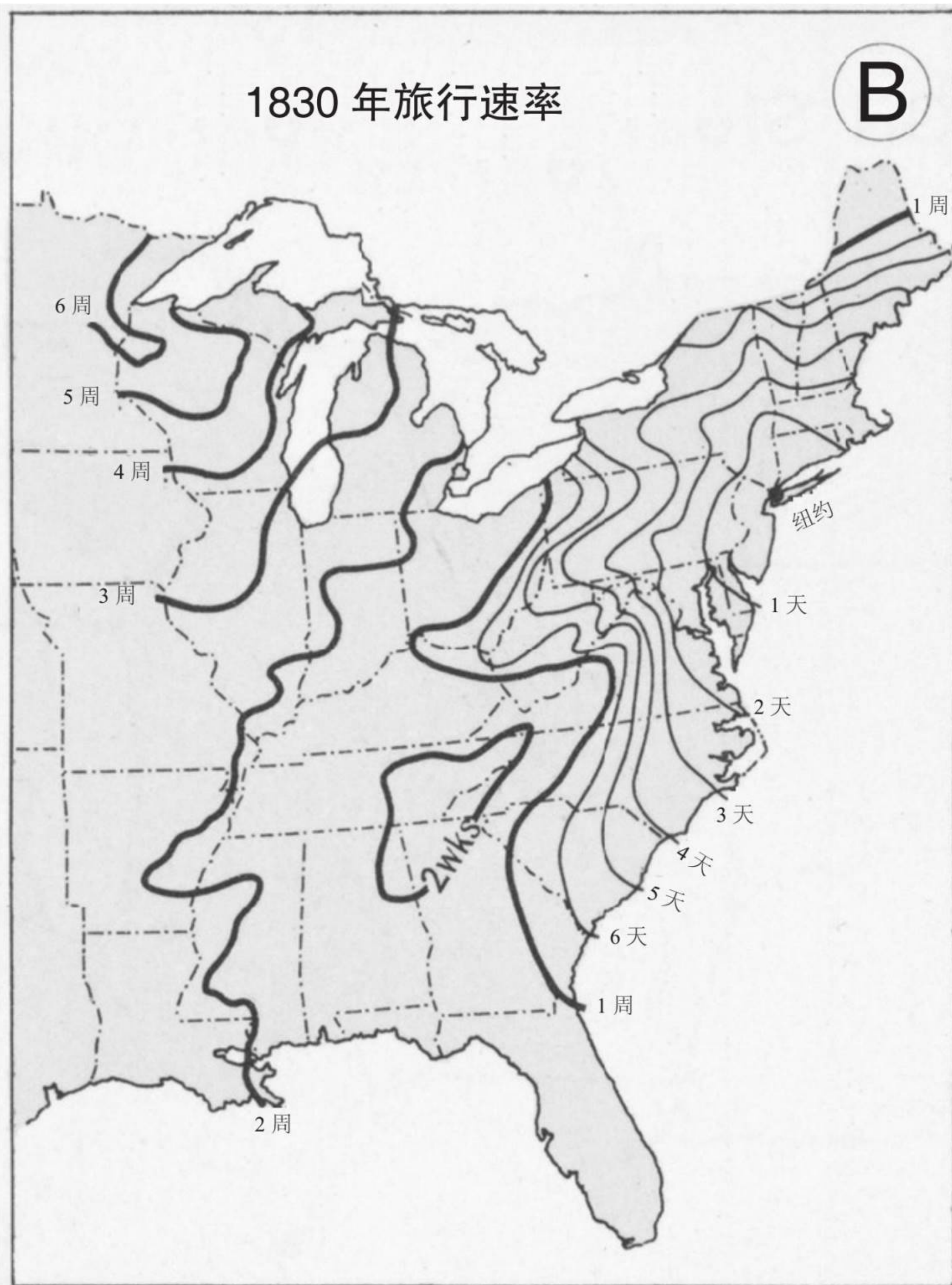


图7–2 1830年以纽约为起点的旅行速率

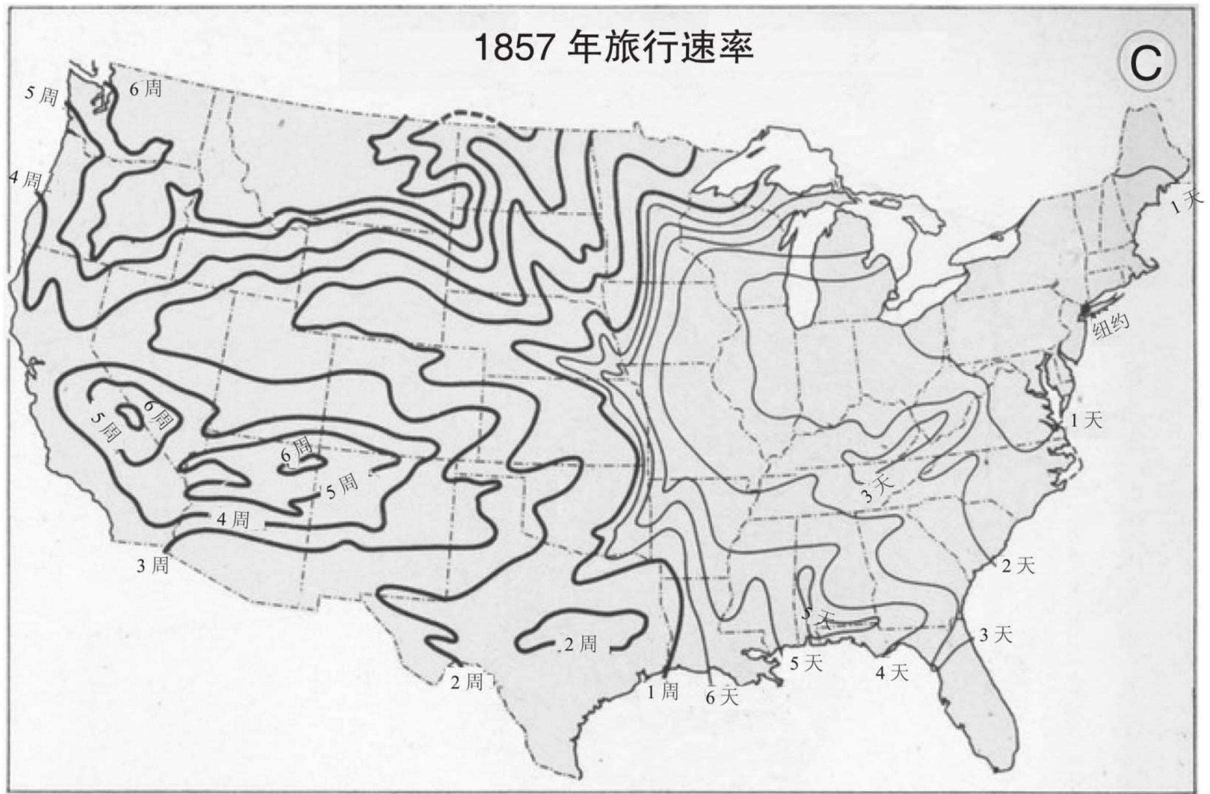


图7–3 1857年以纽约为起点的旅行速率

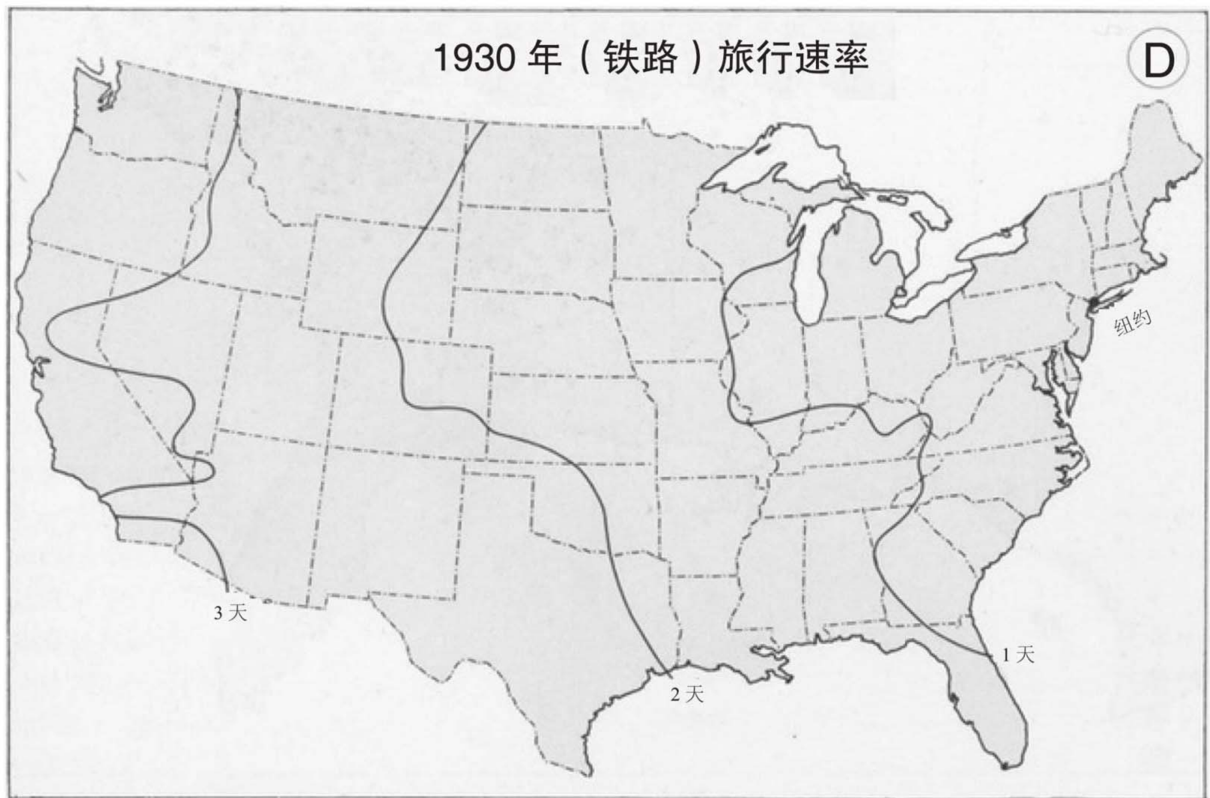


图7–4 1930年以纽约为起点的旅行速率

另一个古老的以标准规格来减少合作成本的例子是语言。语言通过给予人们交流复杂思想、协调性行动和建立商业链接的能力使得人们交织出网络。语言是标准规格中的精髓。它是建立巴别塔时的人群网络与被“上帝”惩罚后语言系统分化的人群网络之间的区别。如今我们的世界语言依旧分化，但是这个分化正在逐渐衰退并被重新构造。12 000年前，人类大概说着12 000种语言。[19]现今世界上有大约6 000种语言，但大多数人只用几种全球化语言交流。在许多线上线下的讨论区里，包括推特、维基百科和书籍翻译，英语变成了链接大多数其他语言的“轴心”语言。[20]我是一个与俄罗斯人结婚的智利人，同时与来自美国、以色列、保加利亚、马其顿、智利、阿根廷、德国和印度的学生共同工作，所以我是一个活生生的受益于英语这样全球性轴心语言的例子。

现在让我们将讨论拉回来，回到公司创建储存大量知识技术的网络的能力上。当我们只将目光放在市场链接时，我们可以说，得益于交流、交通技术的进步，以及语言、技术的标准规格的发展，我们构建国内、国际公司间密集网络的能力提升了。所以，可以放心地说，狭义上商业链接的成本，比如从一个目录上订一件商品，在过去的几个世纪中下降了，并且在这种简单合作构成的网络中，我们积累知识技术的能力也增强了。制造业网络也包含于此，因为这些制造活动涉及需要应用知识技术的中间产品的交流和交换。

在《由市场管理》（Managed by the Markets）一书中，杰拉德·戴维斯描述了制造一个芭比娃娃的过程。制造一个芭比娃娃是由20个不同国家合作完成的。[21]如果我们假设制造一个芭比娃娃比制造一辆车所需的知识技术更少（很有可能是这样），我们便能得出结论：制造过程之所以分散各地不是因为制造芭比娃娃需要的知识技术多于一个公司所能容纳的量，而是因为建立国际商业链接的成本减少了，将制造芭比娃娃所需的知识技术分散到20个不同国家自然也就变得可行了。

然而，正如科斯和威廉姆森指出的那样，不是所有的合作都这么简单。现在让我们来讨论，如果链接很难建立，结果又会是如何。这些“很难”建立的链接通常是指长期的合作或者大型的项目，需要投入大量人力物力。

设想两国大型组织想进行一项合作研究。这个合作可能是因为两方研究者被对方的成果吸引，想进一步探索其思想碰撞的可能性而产生。然而，这个“第一次约会”不是去喝一杯咖啡或者吃晚饭、看电影这么简单，这个“约会”是要签署保密协定的。然后，便要创建一个需要部门领导和双方的法律部门都认可的合同，此过程通常要花上数月。两方的法律部门很可能在知识产权上产生矛盾——双方都想让自己的组织掌握全部的知识产权，这会进一步推迟这个过程。结果就是，这场合作的浪漫会在“婚前协议”的协商中消耗殆尽。这场协商更多地关注了“离婚”后的可能，而非“婚后”的幸福。威廉姆森的理论认为，这个合作中大量的人力和文书工作告诉我们，此合作是难以完成的，因此我们不该期望这个高度官僚化的合作中能承载多少知识技术。

如果你曾在大组织里工作过，无论是私人公司、国家机关、非营利性组织还是学术组织，你会明白我在说什么。你也会同意，这些组织中存在着大量的不必要的官僚主义互动。大型组织之间的互动可不像在果园里摘一个苹果或者在单子里选一个新打印机那么容易。举个极端的例子，在联合国或者其他大型的公共组织中，外部的合作会被需要大量行政人员、文书工作和各方同意的冗长行政过程所限制。有时候，这意味着一些本该非常简单的市场交易合作——例如采购，会陷入管理体系的问题中，引来本可以避免的麻烦。因此，官僚主义的负担让建立链接变得像执行合同那样困难，组织成功地将自己与它想要参与、进入的市场隔离开来。这个状况所导致的一个症结便是，许多明明有能力的国家提供的服务却不尽人意，一个很好的例子便是美国政府的网页和硅谷公司的网页在质量和成本上的明显差别。

极端的低效率只能在不依靠与他人互动而赢利的组织中存在下去，因为如果它们合作了，立马就会走向破产。主要的例子便是通过税收赢利的组织，像是政府，或者被无条件资助的组织，像是联合国。更重要的是，这些成本不仅影响链接的数量，还会影响被链接的双方。冗长复杂的官僚主义要求，对熟悉这些文书和审查者的在职人员是有利的。然而，这些善于做文书工作的人并不一定能提供最好的服务。

极端的官僚主义产生了链接大量人却容纳很少量“人比”的网络。大多数“人比”都被长时间政策化的批准过程等内部程序消耗了。因此，这些网络被自己的链接压垮。虽然大，却积累不了多少知识技术。

我们可以通过几个例子来揭示过度官僚化网络的成本，比如美国的医疗系统。一份最近的关于美国私人医疗诊所的调查估计，这些私人医院的后勤人员每周要花19个小时和保险提供商预先核准，而行政人员则要花36个小时处理索赔程序。私人医疗和私人保险之间合作的成本大概是每个医生每年68 000美元，每年合计310亿美元——这相当于多米尼加共和国2005年的GDP。[22]据估计，1999年包括私人和公共在内的整个医疗系统的合作成本至少有310亿美元，最多高达2 940亿美元——这相当于现今新加坡或者智利的GDP。[23]此外，在1969~1999年间，美国医疗的行政成本从18.2%增长到整个医疗系统劳动力的27.3%。[24]所以，医疗和保险的合作成本不仅高，而且还在持续上升。

我们在这里并不是要探讨美国医疗系统的行政成本，而只是强调不同公司和组织之间的合作成本可以是非常巨大的。最终，链接成本的差异会在公司和组织间网络联通性的差异中体现，在这样的世界中，用最昂贵的链接来积累知识技术的网络会付出沉重的代价。

***

这章开头我们首先将胭脂河工厂作为“人比”殿堂中一个典型的代表来看。胭脂河工厂积累了大量的知识技术并生产了大量的车辆，但它没有成为20世纪制造业的典范。在20世纪的时代洪流不断奔涌的过程中，公司网络形成了新的体系。在制造业，公司合作的能力因关税、交通、通信成本的减少，行业规范的出现，以及轴心语言的协调而提升。商业链接成本的下降使得制造过程得以分散到公司的网络中，如同芭比娃娃的例子展示给我们的那样。[25]但是在电脑此类案例中，由于公司的知识技术容量有限，公司网络便成为生产的必要条件。硬件、软件以及对线上服务的种种需求，电脑的复杂性实际上要求了公司网络的存在。

现代制造业的复杂和健康证明了制造业网络积累大量知识技术的能力在增强。仅仅几个世纪前，许多产品还是和某个地区紧密相连的：法国香槟、瑞典钟表、帕尔的帕玛森乳酪。即便法律上对于名称的限制还能迫使这种联系得以延续，对于现代大多数产品来说，这种联系早已名不副实了。iPhone到底算加利福尼亚州的、中国的，还是韩国的呢？随着制造过程的分解，产品的国籍就逐渐模糊了。

除了大量知识技术，中间产品（如智能手机显示屏或芭比娃娃的塑料珠）的交换组成大型国际网络也是现代制造业发展的原因之一。然而，在制造业不断成长时，其他网络却开始萎缩。在教育和医疗这样有着沉重行政负担的领域，交易的成本很高且在不断上升。很难说我们所看到的行政系统复杂性的增长，会提高这些网络应用更大量知识技术的能力。[26]据医疗方面的记录显示，行政负担和医疗质量成反比关系，这表明了过多的管理和行政并没有帮助这些网络增强其运用知识技术的良好能力。[27]

然而，这是否意味着我们应该试图把所有这些联系转变为市场联系呢？如果科斯和威廉姆森是正确的，并且他们对某些事情的看法是正确的，那么我们所观察到的经济联系的多样性就不是出于选择，而是经济本身的基础特征。我们买一支牙膏所使用的市场联系与一个长期合约中包含的市场联系是不同的，科斯强调，长期合约中经常包括购买一些签原始合约时未指明的东西。所以，如果我们认为，所有的联系都能像我们在交易中明确定义的想象实体（如红酒杯和厕纸）那样建立，那就太天真了。之后我们将会发现，把社会维度带入这些交易中，会让我们明白为什么形成积累知识技术的网络需要联系的多样性。

幸运的是，我们只需要从长长的讨论中学到一些东西就够了。毕竟我们的关注点不在交易成本本身，而是在经济体形成一个支持其创造所需知识的结构的能力上。在这个目标上，我们需要记住的一点是，生产网络的大小与它所包含的知识的量相关。更大的网络可以包含更多的知识技术，其他的东西也一样。第二点是，我们编织大型网络的能力取决于建立联系的成本。成本越低，积累大量知识所需要的大型网络也就更容易建立。

第三点需要明白的是，在构建积累知识的网络结构的过程当中，存在着阶段性突破或者转折点。想要积累大量知识技术，我们需要将知识技术量化。出于这个目的，我们需要知道知识技术的两种基本定量：个人量（来自人类有限的能力）和集体量（来自集体有限的能力）。当然，个人量和集体量的限制都不应该用严格的数字来衡量。两种限制代表的是指向知识积累网络中转折点的概念边界，而不是一个具体确定的临界值。个人量和集体量都表明，我们累积大量知识技术的能力是包裹在巢式的结构里，在这个结构中，某一范围内我们认为是网络的东西在下一阶段会变为节点。就好比当我们将人作为抽象概念来谈时，神经元的网络就成为其一个个的节点；当我们将公司的网络作为抽象概念来谈时，人组成的网络就成为其节点。

最重要的一点是，积累大量知识技术是非常困难的，因为这需要一个包含知识技术的网络。我们可以把知识技术视作连续的，但包含它们的网络却不是连续的。无论是在理论上还是在实践上，知识技术都必须被量化。

所以，对知识技术的量化（一部分是来源于联系的成本）能帮助我们理解为什么积累更多的知识技术非常困难。答案就是，积累知识技术之所以困难，是因为建立一个既体现知识又体现技术的网络非常困难。但此处有一个重要的警告，目前我们对联系成本的解释太过依赖经济层面的观点，比如科斯和威廉姆森的观点。但重要的社会和文化发展也同样影响着社会网络的结构。所以，在下一章我们会讨论其他阐释社会网络结构和经济产出之间关系的观点。

---

1. 1平方英尺=0.092 903平方米。——编者注

第八章
我们所相信的联系

如果一个社会完全由理性的个体组成，他们出于自身利益，为了形成社会合约而在一起，那么这样的社会是无法长久持续的。

——弗朗西斯·福山

如果人们相信，他人即使有明确的、做出相反行为的动机，也会做出“正确的”事情，信任就在社交关系网里出现了。

——马克·格兰诺维特

在波士顿找一间好房子并不容易，尤其是当你拿着研究生工资的时候。2005年，我被迫尝到了这一教训。

我在2004年移居到美国，并加入圣母大学的拉斯洛·巴拉巴西实验室。和他相处过的人们都知道，拉斯洛是一位知名的年轻物理学家，研究网络和复杂系统。2004年以前，我一直关注拉斯洛在网上发表的文章。而现在到了跟着拉斯洛本人搬到波士顿的时候了。

2005年，拉斯洛将他的实验室迁到波士顿，假期时间在马克·维达尔癌症系统生物学研究中心工作。然而，我第一次去波士顿的旅途与研究无关，唯一的目标就是找个住处。我只有两天的时间来完成我的目标。

两天之内，我跑遍了一个个又小又脏又贵的公寓。由于必须迅速做出决定，我选择了一家在亨廷顿南街的公寓，离马克的实验室只有

一小段距离。

当时我并不知道，我会在波士顿（更精确一点，在剑桥——波士顿的“秘密武器”）度过我人生中非常重要的一段时光。我现在在波士顿已经生活了将近十年，在这期间我离开了拉斯洛的实验室，在麻省理工学院建立了自己的实验室，结了婚，有了女儿，并结识了一大群好朋友。在这些年间我还住过许多公寓，熟悉了我许多朋友的家。现在有了后见之明，我再回首我第一次找房子的经历时，我明白了为什么在波士顿找一间好房子这么难。原因很简单：最好的公寓永远不会在市场上租售，而是会在朋友之间流转。

波士顿和剑桥是很多人不愿意久留的地方。这里的许多人都是研究生和博士后，这就意味着他们的职位是有期限的。波士顿和剑桥是大熔炉，但也是能认识新朋友和一辈子至交的地方。房子的高成交量和友情这两个因素的综合导致剑桥最好的公寓从来不在市场上租售。当有人搬离一栋好公寓的时候，总是有朋友想要搬进来，而房东往往会同意这种私下转交的方式，因为这也省去了他们寻找新房客的麻烦。所以经验就是，至少在波士顿和剑桥，对社交网络来说，真正的房地产市场只是第二选择。借用一个一生大部分时间研究经济和社交关系网的社会学家——马克·格兰诺维特的术语，我们可以说在剑桥，社交网络“深深植入”（embedded）在学生公寓的市场里。

在第一章里我重点关注了网络对积累知识技术的影响力，但我并没有忽视社会和文化对这些网络的大小、结构和适应性的作用。然而，寻找公寓的例子说明，仅仅基于经济因素去理解人类网络是不完整的。实际上，我们的互动交流，即使是专业上的交流，也会被我们所认识的人和建立关系的缓慢过程所限制。这一章的目的是通过观察社会和专业网络形成的基础以及社会和文化的力量，比如信任和家庭对社会与专业网络的大小、适应性与组成的影响，来进行明确的综合考虑。

描述社交关系网中的交流和经济并不是一件容易的事情，部分原因在于这个领域中不同的声音并不罕见。经济学家和社会学家往往在辩论之后形成了完全相反的观点。20世纪的很长一段时间里，经济学家——尤其是新古典主义派的经济学家——把社会结构看作市场力量的附带作用。市场提供了让人们交流的动机，所以人们会不时地建立和破坏联系以回应这种动机。这种世界观主要来自数学模型的应用，与社会学家和政治学家以及他们的数据不符。在20世纪后半叶，社会学家和政治学家开始反攻，带动了经济社会学和社会资本论领域的发展。[1]

经济学家争辩道，社交关系网对我们理解经济有着重要作用，因为社交关系网往往先于经济联系，并且它们足够强大，可以影响到经济结果。[2]毫无悬念，主要的辩论战场是关于劳动市场的研究。劳动市场是社交关系网与经济活动间联系的关键点，因为它既可以被理解为一种建立我们称之为“公司”的网络的机制，也可以被理解为一种能帮人们找到得以贡献力量的网络的机制。但是，在20世纪经济学家日趋习惯的关于劳动市场的观点中，事先存在的社交关系网是无法起作用的。相反，工资传达出超额供应和公司对于每个员工所具备技术的需求的信息，而劳动分配被认为是供给和需求达到平衡的结果。

然而，马克·格兰诺维特等社会学家所提供的数据却并不支持这些理论。正如格兰诺维特在他1974年的书《找工作》里所说的那样：“完美的劳动市场只在教科书里存在。”[3]

格兰诺维特的博士论文是一个标志性的研究，它基于一个前所未有的调查——研究波士顿牛顿郊区中专业、技术以及管理三类工作者找工作的行为。格兰诺维特观察到，已存在的社交关系网而非市场力量才是人们找工作的第一要素。他提到，样本中大概56%的人通过私人关系找到了他们最新的工作，而这种联系并不是为了找工作才建立的，它更多地建立于朋友和家庭之中。

然而，格兰诺维特发现，社交关系网不仅影响工作的分配，还能预测员工所获得工作的重要特点。她发现，通过私人关系找到工作的人往往比那些通过申请和专业招聘机构找到工作的人挣得更多。而且通过私人关系找到工作的人更容易找到适合自己的工作，其工作满意度也更高。[4]总之，他发现，对找工作的人来说，社交关系网不仅是对工作机会起主要决定性作用的重要信息来源，还和薪水、工作满意度等重要的工作特点相关联。如同最好的公寓一样，好工作的分配也在很大程度上依托于社交网络。

格兰诺维特关于白领工作者的一系列发现表明了私人关系是人们找工作的主要途径。然而，将其数据与其他资源对比，他还发现，蓝领工作者找工作的方式并无不同。除一小部分特例外，随后在美国和其他国家的研究也证实了私人关系对人们寻找工作机会非常关键。收入动态的定组研究（The Panel Study of Income Dynamics）调查了5 000个美国家庭，这些家庭中的一家之主和他们的配偶都是45岁以下。该研究发现，在1978年，有52%的白人男子、47.1%的白人女子、58.5%的黑人男子和43%的黑人女子通过他们的亲朋好友找到了现在的工作。美国全国经济研究所1989年对贫穷青年的调查发现，在波士顿的三个贫穷地区，51%的白人和42%的非裔美国人通过私人关系找到工作。日本1982年的职业调查表明，34.7%的15岁以上的人通过关系找到工作。其他的研究在某些特定地区甚至给出了高达70%的数据。另外，社交关系网的力量并没有随时间推移而衰弱。《纽约时报》最近的一篇文章报道说，安永会计师事务所45%的非入门级职位的招聘是通过员工推荐的，而德勤会计师事务所录用的49%的员工来自推荐信。[5]这两个例子中的数字自2008年经济危机开始增长，因为劳动市场的紧缩提高了社交关系网对找工作的重要性。总而言之，种种证据表明社交关系网有助于形成职业网络，这也就留下了关于社交关系网的形成与经济间重要关系的种种疑问。[6]

社交关系网在经济上的重要性促使我们提出如下问题：社交关系网是如何形成的？社交关系网的形成基于三个基本点：共享的社交关注点，共享的伙伴，同质性。前两个基本点能帮助我们理解我们从哪里交到朋友。共享的社交关注点的意思就是，拥有共同社会关注点的人们更容易建立联系（比如同学、同事、一起去教堂的同伴等）。共享的伙伴是说，当人们有共同的好友时更容易建立联系。同质性是用来解释长久的联系的，即有共同的兴趣和特点的人更容易建立联系。这些机制组合起来的结果是：社交关系网是由一群群相似的人构成，他们拥有的知识和信息有很大重叠。这种重叠对求职方面的研究来说非常重要，因为它说明了社交关系网会使得进入一个公司的人与公司内的员工相似。这种相似有好有坏：一方面，它更容易吸引能与公司其他员工在社交和职业上打成一片的人；另一方面，这种相似也会增加公司知识的重叠，这种重叠可能会逐渐积累，达到危险的程度，还有可能形成潜在的歧视（因为社交关系网趋向于种族和意识形态上的分离）。

社交网络提供了潜在的“框架”，限制了职业网络的形成。这是格兰诺维特认为经济是镶嵌在社交关系网里的体系的原因之一。[7] 然而，社交网络和社会机构不仅仅通过影响劳动市场来影响网络。实际上，社会机制，比如家庭和社会的信任水平，在职业网络的形成中也扮演着重要角色，它影响着经济体系中公司的规模和构成。

弗朗西斯·福山是一位政治学家，他在职业生涯中深入地研究了文化、政府和市场的相互影响。在其1995年出版的《信任》一书中，他指出，社会形成大型网络的能力主要反映在社会信任水平上。福山很彻底地区分了他口中的“家族”社会，比如欧洲南部和拉丁美洲，以及“高度信任”社会，比如德国、美国和日本。家族社会中人们不信任陌生人，但对自己的家庭成员高度信任（意大利黑手党就是家族社会极典型的一个例子）。在家族社会中，家庭网络是影响经济活动的社会组织形式的主导，所以在这个社会里，商业活动更像是亲戚之间的

风投。与之相反，在高度信任社会里，人们对信任他们的亲戚并没有特别强烈的偏爱，因此专业运营的公司更容易形成。

家族社会和高度信任社会间不仅是网络的构成不同（亲属与非亲属的不同），网络的规模也不同。这是因为高度信任社会里，专业运营的商业活动更容易形成包括大型网络在内的各种不同规模的网络。反之，家族社会中则更多的是小型商业以及几个主导家庭控制着的若干大型联合企业。

然而，就像我们之前所提到的，网络的规模很重要，因为它会决定经济活动发生的场所。生产高度复杂的产品需要大型网络，从而得以使社会达到更高程度的繁荣。所以，根据福山的理论，不同规模的工业同时存在就表明了信任的存在。用他的话来说："工业结构告诉我们一个关于国家文化的有趣故事。如果一个社会中有强大的家庭，陌生人之间的信任很微弱，社会就会主要由小型的、家庭拥有的产业占据。另一方面，如果一个国家有着活跃的私人非营利性组织，比如学校、医院、教堂和慈善机构，那么强大的、超越家庭的私人经济机构也就更容易发展起来。"[8]

把国家工业结构看作知识的表现抑或信任的表现这两种观点并不矛盾。庞大的社会网络可以积累更多有效知识的人比，有信任的社会则有利于大型网络的繁殖，例如日本、美国和德国，这些社会会渐渐倾向于需要大型网络支持的活动，比如医药品和飞机的制造。然而，正如酒杯不能决定自己装的是什么酒一样，促使大型网络形成的信任并不能决定何种知识会被累积，是汽车制造还是喷气式飞机引擎制造，无法确定。换句话说，让网络诞生的机制和负责决定网络内容的东西是不同的。信任这一资本社会的关键形式，是建立和维持大型网络的"胶水"。它和我们在网络中积累的知识技术是不同的。[9]最终，这使得网络中积累的知识技术变成与促成积累知识网络形成的信任或社会资本不同的生产因素。

然而，信任是如何促使大型人力网络形成的呢？信任有没有可能是网络的结果而非成因呢？确实，这些不断发生在工作和民间组织中的社交行为可以增强信任，人们会与其同事成为朋友。但是，我们还有其他的理由相信，社交关系网的形成早于现代经济活动。在近期一个关于坦桑尼亚的猎人群体——哈达部落的社交研究中，研究人员发现，哈达部落和其他工业化社会的重要社交关系网结构间有很多相似之处。[10]此外，研究人员还发现，合作的个体之间更容易产生联系，这意味着即使在哈达部落，社会机构也镶嵌在社会群落中。[11]正如研究人员所提出的："社交关系网结构的一些重要元素可能在人类历史很早的时期就已经出现了。"自然，也比现代市场的形成要早得多。

需要我们重视的一点是，"社会联系早已存在"这一本质并不能证明科斯关于联系成本的观点是错误的。相反，交易成本理论和经济社会学是互补的，因为已存在的社交关系网的经济效果可以被理解为联系的成本。用福山的话来说，"一些社会在交易成本上能够节省很多，因为经济个体在他们的互动中相互信任，所以此类社会会比信任程度低的社会更有效率。信任程度低的社会需要非常详细的合约和强制机制"。[12]因社会资本方面的著作而闻名的社会学家詹姆斯·科尔曼，也强调了信任对减少交易成本的重要性。在社会资本的研讨论文中，科尔曼描述了犹太钻石商在纽约的交易，他们有着在正式交易之前让其他商人私下看货的传统。他认为，信任和有助于加强信任的家庭、熟人社交关系网对交易的成功而言非常关键。如果没有信任，这些简单的交易很快就会变得昂贵，因为需要花费金钱和时间来建立合同、保险和强制程序。[13]

所以，如同奥利弗·威廉姆森所描述的，信任和社交关系网使得除正式机构之外的选择变得可能。信任提供了一种非合约性的、非正式的但极高效的机制来阻止不正当行为，使一些本来风险很高的商业交易能够实现。事实上，当信任存在时，比起正式机构，信任是更有效

率地建立经济网络的渠道，因为它没有昂贵文书和强制程序的负担。通过降低每一个环节之间的成本，信任使更庞大的、可以累积更多知识的人比的社会网络得以成形。

社会机制，例如家庭的相对重要性和社会信任水平，可以帮助我们理解人们组成的网络规模的区别，进而理解经济活动为何会发生在不同的地区。这种解释在国际背景下成立，在文化不统一的那些国家内部也同样适用。

关于国家内部社会机制以及经济网络运作的结果，一个著名的例子就是硅谷和波士顿128路间的对比。128路曾经也是科技中心，与硅谷相抗衡，直到20世纪80年代才开始衰落。曾深入研究过这两个地区区域经济发展的专家——安娜丽·萨克森尼安声称，社会机制是解释这两个地区差距的原因之一。

> 硅谷密集的社交关系网和开放的劳动市场激励了企业发展和各种实验。公司们一边激烈竞争一边相互学习如何通过非正式交流和合作实践来改进市场和技术。松散联系的团队结构激励了公司各部门之间平行沟通，以及与外部供应商、顾客间的平行交流。在这个基于网络的系统中，公司内的职能界限是可以互相渗透的，公司之间、公司与贸易组织和大学这类的当地机构的界限也是如此。
>
> 128路这个由经济独立的企业主导的科技中心则反其道而行之，将许多生产活动内部化。保密协议和企业忠诚度控制着公司和它们的顾客、供应商以及竞争者之间的关系，也加强了区域文化，激励了稳定性和自我依赖。企业等级制确保了中央集权和信息纵向传达。社交关系网与技术网络在公司中极大地内部化。在这个独立的、以公司为基础的系统中，公司与公司间以及公司与当地机构间的界限泾渭分明。[14]

萨克森尼安的观察结果告诉我们，地区间的社会机制差异是如何影响公司（或者我们称之为“区域群体”）的网络规模和适应性的。128路的公司对其员工和其他公司不信任，这便推动了等级森严、难以渗透的结构的形成，导致了适应性差的区域群体的产生。适应性的缺乏进而导致了网络规模的差异，因为从长期来看，比起硅谷群体，适应性差的128路群体的规模在不断萎缩。所以，社会机制不仅会影响人们组成的网络规模，还会影响它们的适应性，正是这一点帮助硅谷把128路远远甩出几条街。[15]

关于硅谷的渗透性界限和适应性，一个典型例子是1979年乔布斯去施乐帕洛阿尔托研究中心参观的那次有名的经历。在那里，乔布斯学习了图形用户界面（GUIs）和面向对象的程序设计。最终，苹果而不是施乐，成为成功将这些技术商业化的公司。知识产权的拥趸或许会抱怨是苹果而非施乐从这些技术中获利，但实用主义者则认为，对硅谷的长期持续发展而言，苹果公司（或其他公司，就这件事而言）能发展这些想法并使其商业化反而更好，不然这些点子就可能会在施乐管理者的手中消亡，甚至更糟，被竞争公司利用、商业化。从长远来看，渗透性的界限为硅谷网络提供了适应性，使得公司可以彼此传递接力棒，即使在偶尔的情况下，这种传递是很不情愿的。[16]这种适应能力是128路的网络所缺少的，这种缺乏则影响了其构建能累积大量知识的网络的能力，使之累积知识的总人比值无法与硅谷匹敌。

史蒂夫·乔布斯能够去施乐帕洛阿尔托研究中心参观，是因为带他去那里的人信任他。这再次表明信任促进了我们社会积累知识技术所需的大型网络的形成，尽管信任有时以不可思议的方式发挥作用。通过减少联系的成本，信任为网络的规模做出了贡献，同时也通过提供渗透性界限使得这些网络能够适应市场和技术的变化。在高度信任的环境里，联系更容易产生，因为很显然，高度信任环境中的人们会普遍假设新的联系没有那么高的风险。然而，在低信任环境中，人们并不情愿与陌生人建立联系，所以不得不去寻找其他方式来建立网络。

信任造就了社交网络，社交网络也成就了信任。即使在高度信任的环境下，人们也不会很傻很天真，轻易相信任何陌生人。社交网络则帮助了人们从完全陌生的人群中，筛选出那些与自己有共同好友的“陌生人”。这就是为什么“轰趴”（House Party）与酒吧不一样。在一个“轰趴”上，人们知道自己与其他人一定是有共同好友的。然而，在酒吧里，这种情况大概就不会出现。让我们回到劳动市场的例子，现在就可以解释为什么雇佣者倾向于选择熟人推荐的人了。因为相比于完全陌生的人，熟人推荐的人更容易获得信任。而且，那些被推荐者往往不会轻易离职。[17]总的来说，在密集的社会群体中，当人与人有更多联系时，信任感就更容易产生。高信任社会已经成功创造出了许多助力催化这些密集网络形成的例子。就如同政治学家罗伯特·普特南在《独自打保龄球》一书中描述的那样，在历史上，非血缘组织的形成——比如扶轮社、共济会、美国童子军和红十字会——是构建社交关系网的有效方式，而我们的社会正是通过这些网络累积信任感和社会财富的。在美国，大部分这样的组织都是在19世纪末或20世纪初建立的。1900~1910年是其鼎盛时期，每200个美国人中就有一个是类似组织的成员。[18]

因为低信任社会不善于通过建立组织和协会来联系陌生人，所以会更依赖家族中的人脉关系。人们渴望并依赖家族关系，是因为这些联系有很重要的特质。家族关系比商业互动更早产生，高度稳定，而且深受家族成员们的制约，因为当家里人之间有嫌隙时，其他成员往往会充当和事佬，劝和不劝分。此外，这种关系具有高度利他主义的特点，人们觉得这种关系应该是无条件的，因为它建立在诸如爱、友谊、忠诚等情感之上而非商业目的。这便使得家族在低信任社会中成了创造信任的源泉，同时也令家族成员之间的关系变得更有意义。就像弗朗西斯·福山所说的，“如果家族业务是由本质上完全利己的理性人之间签订的合约，那么我们很难想象有意义的家庭生活”。家族信任取决于对家庭纽带会延续下去的无条件期望。这种期望提供了一种先

于现代经济活动存在的网络形成机制，也因此不同于被市场和正式机构所推动发展的网络形成机制。[19]

然而，低信任的家族社会面临着一个困境，因为完全依赖于家族的企业很难壮大。即使家族企业能够扩大到一个可观的规模，它仍然需要一个比家族人脉更壮大的网络体系来取得进一步发展。这里，低信任社会的二元性就出现了，因为与高信任社会相比，低信任社会更加期待国家催生出一个他们所缺乏的大型经济社交关系网。正如罗伯特·普特南在讨论意大利南部的社会构成时发现，那里“几乎每个人都觉得法律可以被破坏，但是惧于他人的无法无天，每个人又都要求上司和政客们制定更严格的纪律”。[20]

跟黑帮电影里演的不同，家族社会不只存在于意大利。很多欧洲南部、东部和拉丁美洲的地区都被描述为家族社会。甚至数学强国——法国都是其中一员，因为在法国，政府在工业构成中至关重要，这跟家族社会所展现出的特征一样。法国政府在大型工业的成功中扮演很重要的角色，比如在空客系列和一度流行的协和客机出现时达到鼎盛的航空航天产业。然而，法国政府也直接或间接导致了巨大的损失，就像早已被人遗忘的法国计算机行业的失败一样。福山如此描述道：“（法国）政府20世纪60年代时的分析预测认为，未来计算机强大的能力将会逐渐集中到几个庞大的实时共享的主机上，于是政府就在这个微型计算机技术革命的前夕竟做出了在实时共享主机方面补贴投资的决定。法国计算机行业在20世纪80年代实现了全国统一，并受到大幅补贴，但紧接着这一行就开始财政大失血，给法国带来了经济萧条。”[21]法国计算机行业只是众多例子中的一个，这样的例子说明了“在主要以家庭和血缘关系为社交范围的社会环境中是难以建立起较大且持久的经济组织的，所以这个社会中的人会期盼政府的带领和支持”。[22]

***

在这章开始的时候，我们讨论了社交关系网和机制如何影响人类用以获取知识的网络的规模、适应性和构成。在简短地讨论了有关经济社会学和社会资产的文献后，我们能自信地说，社交关系网和社会机制能够决定人类用以获取知识的网络的规模、适应性和构成。首先是规模，我们能看到社会中网络的扩张能力是与信任的累积联系在一起的。这与交易成本理论相符，因为它显示出信任让联系变得廉价，从而使网络得以扩张。在高信任社会中，人们更倾向于通过自发的社交行为建立庞大的社交关系网。在过去，这些网络包括民间组织联盟的形成，但是近来这种联盟转移到了网上。[23]而低信任社会依然习惯性地依赖于家族人脉，并且更有可能要求政府努力发展促进大规模社交。

其次，在网络组成上，社会机制和之前存在的社交关系网也会在两个不同方面影响专业网络的组成。一方面，一个社会的信任水平决定了网络是否更有可能承载家庭关系；另一方面，我们也展示了人们通过私人关系找到工作，而公司也倾向于雇用与其员工沾亲带故的人。

最后，社交关系网和机制也能影响公司的网络和社会适应性。正如我们在硅谷和128路的对比中所见，低信任地区产生的网络，边界渗透性更差，从而限制了长期的适应能力。这点对创新部门尤其重要。此外，我们可以看到，尽管在招聘中动用私人关系对网络的信任度和凝聚力来说是有益的，但它会促使整个过程冗杂繁复。

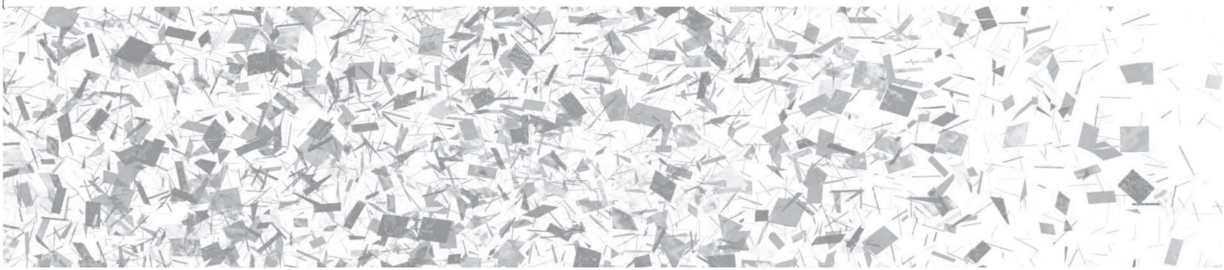
当然，我们不能一概而论。因为先前的讨论，就认为任何一个从发达国家来的人都可信显然是错误的。反之亦然，认为所有来自发展中国家的人都不值得信任一样大错特错。就像我之前举的例子，因为莫扎特是奥地利人，所以推断所有奥地利人都有音乐天赋是不对的；因为发达国家的平均信任水平比较高，就推断那里的人更值得信任也是不对的。在大多数情况下，人与人之间的差异要远大于群体之间的

差距。因为来自发达国家或者发展中国家就做出可信或不可信的判断是对先前讨论的一种错误解读，应当避免。在个人层面上，人们应该更关注一个人的行为举止，因为个人的行为举止比分类和闲言碎语更有话语权。

***

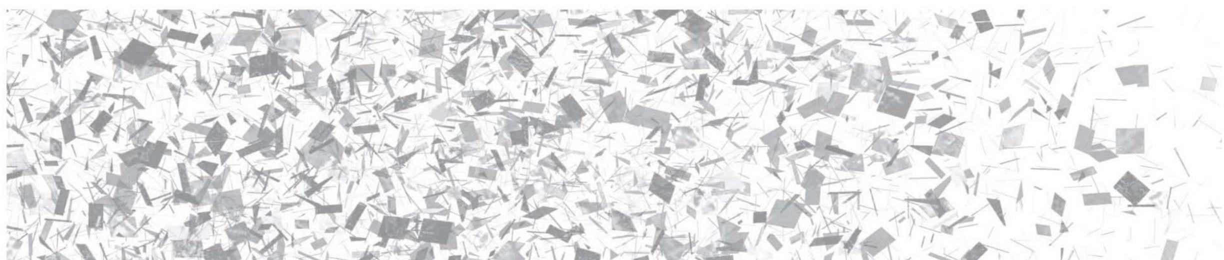
这就把我们带到了第三部分的末尾。在接下来的章节里，我们将视线转移到一个有着受限于累积知识技术能力的碎片式网络特点的世界。这将有助于我们理解在国际和国内贸易数据中所观察到的产业发展的经验模式，也会有助于我们把这些产业结构同经济的增长联系在一起。

最终，随着我们生产新产品（也就是信息的集合包）的能力不断发展，信息也在我们的社会中不断增长。然而，为了生产这些产品，我们需要在个体组成的网络中累积知识技术。第三部分告诉了我们为什么要将信息再分解（人比理论），并且描述了在经济和社会方面，限制我们形成积累知识技术的网络的制约因素。我们即将在第四部分看到，限制我们积累知识技术能力的经济、社会和个体因素其实就是限制我们创造产品能力的罪魁祸首，同时这也解释了各国间经济发展的差异。那些更善于促进信息增长的国家会更昌盛。



WHY
INFORMATION
GROWS

第四部分
经济的复杂性



如果没有知识技术，我们的物种将对信息增长束手无策。知识技术可以告诉我们做什么、怎么做。如果社会是一台制造出我们的城市和物品的大电脑，那么知识技术就是助力电脑运作的软件。但是作为一种特殊形式的软件，知识技术被运行它们的硬件束缚。如我们所见，这个硬件包含受到机器助力的人们，当然，还有人所组成的网络。当我们的身体和社会组织保佑我们拥有获取信息的能力

时，它们也导致了世界上知识技术的分布不均。知识技术是受地理限制的，这种限制导致了国与国之间制造能力的差异。然而，国家之间制造能力的差异也解释了国与国之间购买能力的差异。因此，为了理解国家之间的消费差异和收入不平等这一全球性的谜题，我们首先要理解限制知识技术扩散的全球机制。知识技术的扩散解释了国家制造产品能力的不同，而这种不同本质上就是国家间促使信息增长的能力的差异。

第九章
经济复杂性的进化

为什么知识技术会受地理限制呢？至此，我们已经了解到，知识技术难以积累是因为学习是经验性的、社会性的，而且每个人和每个公司能够掌握的知识技术量是有限的。而个人和公司积累知识技术能力的有限则导致我们需要把知识技术切分并散布到公司和社交关系网中去——而正如我们之前所见，这种网络很难形成。所以，要掌握大量的知识技术，我们需要由人组成的大型网络。但是网络规模和其所能掌握的知识技术的量之间的关系不仅使得知识技术的积累很困难，也暗示了在大型生产网络中，移动或复制知识技术要比在相对小的生产网络中难得多。

然而，由于知识技术看不见摸不着，研究知识技术的地理分布就十分困难。所以，要研究知识技术的分布和扩散，我们就需要找到一些能够表达关于其所在地理位置的间接信息的内容。其中一个选项就是观察产业在地理上的分布，因为产业可被理解为具象化于当地公司网络和社交关系网的知识技术的表达。这就好比生物学家把显性性状（生物物理和功能上的特征）看作基因性状（生物的DNA上携带的信息）的表达一样。用最简单的定义来说，基因就是带有蛋白质遗传密码的DNA片段，而显性性状就是生物的物理和功能上的特征，比如你的发色或高血压易感性。我将在本章中试图说明的，和很多遗传学想说的东西类似。当然，我不会尝试建立显性性状与基因性状间的联系，我试着做的是找到一个地点内所能积累的知识技术和出现在其中的产业之间的联系。

显性性状和基因性状这个类比很有用，因为它们代表了一对相关的实体，在这对实体中，一方比另一方更容易观察——显性性状比基因性状本身容易观察，而产业比知识技术容易观察。这种二元性很有用，因为它暗示了我们，可以通过观测最容易看到的定量来替代其他不易观测的事物。比如，绘制出能让人长得很高的基因分布图很难，因为有许多基因都跟身高有关，所以识别、探测并且量化能够解释勒布朗·詹姆斯和丹尼·德·维托[注]两人身高差距的分子顺序一点儿都不容易。[1]但是通过观察两者，即使我们不知道那些基因是什么，也可以知道谁身上更有可能携带着与高个子相关的基因。同样的，如果想要绘制出制造飞机引擎所需的知识技术的分布图，我们可以直接去看引擎制造工厂和工程师们都在哪儿。简单来说，我们可以推断是洛杉矶而非厄瓜多尔掌握着更丰富的拍摄动作片的知识技术，因为每年我们都能看到，许多大受欢迎的动作片都来自洛杉矶而很少产于厄瓜多尔。所以，即使产业的出现没有告知我们拍电影所需的具体的知识技术，它仍然可以告诉我们承载拍电影所需知识技术的网络实际分布在哪里。[2]

虽然得到产业所在位置的有效数据并不容易，但也是有可能实现的。产业和位置之间国际联系的不完美表达已经体现在了汇总每个国家进出口产品的贸易数据中；对地方经济而言，在像公司的纳税地点、个人社保缴费情况以及工业普查的政府档案中就可以找到这样的数据。尽管大多数数据集并不完美而且有局限性，但对于绘制公司的位置和其承载的知识技术的分布图来说，它们仍然是我们现有数据中最好的。

这些数据集很有用，因为它们提供了实验对照组，我们可以用这些对照组来检验那些解释了产业地理位置构成的理论。要做到这一点，我们需要找到这些数据的特点。这些特点并不那么明显（并非轻易能解释的），被很多不同的数据集所共有，而且能被我们想要检验的理论预测。

涵盖公司纳税地点和国际贸易情况的数据中，一个很常见的显著特征就是一种生态学家称之为“嵌套结构”的模式。[3] 嵌套结构指的是什么，从专栏9–1所展示的图中就能很容易看出。嵌套结构就是这些矩阵间“三角关系”的一种技术上的说法。较为正式的说法是，嵌套结构是指如下两方面：（1）最不多元化的地方——那些产业种类并不丰富之处——拥有最多元化地方的产业的子集；（2）最偏门的产业只出现在最多元化的地方。

为了进一步说明嵌套结构，想一想阿根廷、洪都拉斯还有荷兰的出口状况。在洪都拉斯2008年出口的50种产品中，阿根廷出口了25种（占总数的50%）以及荷兰出口了48种（占总数的96%）。[4]在阿根廷2008年出口的227种产品中，荷兰出口了213种（占总数的94%）。这些重合告诉我们，洪都拉斯的出口产品——从统计学角度讲——是阿根廷出口产品的子集，同时以此类推，阿根廷和洪都拉斯的出口产品也是荷兰出口产品的子集。现在你可能会说，很显然，一个多元化的有着很多产业的地方会包含不那么多元化的地方的产业。然而，数据中观察到的嵌套结构，在统计学上要远比从人口和产业差异中推断出的大，所以我们称其为嵌套在一起的矩阵，不仅是因为这个子集的结构就在那儿，也是因为这个子集结构在统计学上比我们从显然的解释中推断出的更大。[5]

嵌套结构统计学上的意义是告诉我们一个关于产业空间分部的事实，从而使我们深入思考有助于解释嵌套结构的原理。再一次，人比理论派上了用场。

这些产业——位置矩阵的嵌套结构告诉我们，有些产业（因此，也有大量的知识技术）几乎是无处不在的，而其他的只在极少的一些地方出现。但是哪些产业是无处不在的？是那些拥有大量知识技术的产业还是那些拥有少量知识技术的产业呢？要回答这个问题，让我们来看看几个例子。

专栏9–1 产业——位置矩阵的嵌套结构

图9–1和图9–2展示了两个产业——位置矩阵。每行代表一个位置，而每列代表一种产品或一个产业。图9–1显示了每个国家出口的产品，图9–2显示了智利公司的纳税地点。黑点表示一个国家出口的产品或者是智利自治区里一个产业的存在。在这两个矩阵中，位置依照多元性从大到小的顺序排序，同时产品和产业是依照普遍性从大到小的顺序排列的。大多数存在的点都以近似三角形的形态在矩阵的左上角聚集，这个现象被称为嵌套结构。实线代表每个位置的多元性。位置的多元性就相当于一个国家出口产品的数量，或者是一个自治区内所存在的产业数量。多元性线是对于一个矩阵内所能观测到的，最大的可能存在的嵌套结构的简单估计。如果嵌套结构是完美的，那么多元性线就会是黑白区域之间一个近乎完美的分割线。

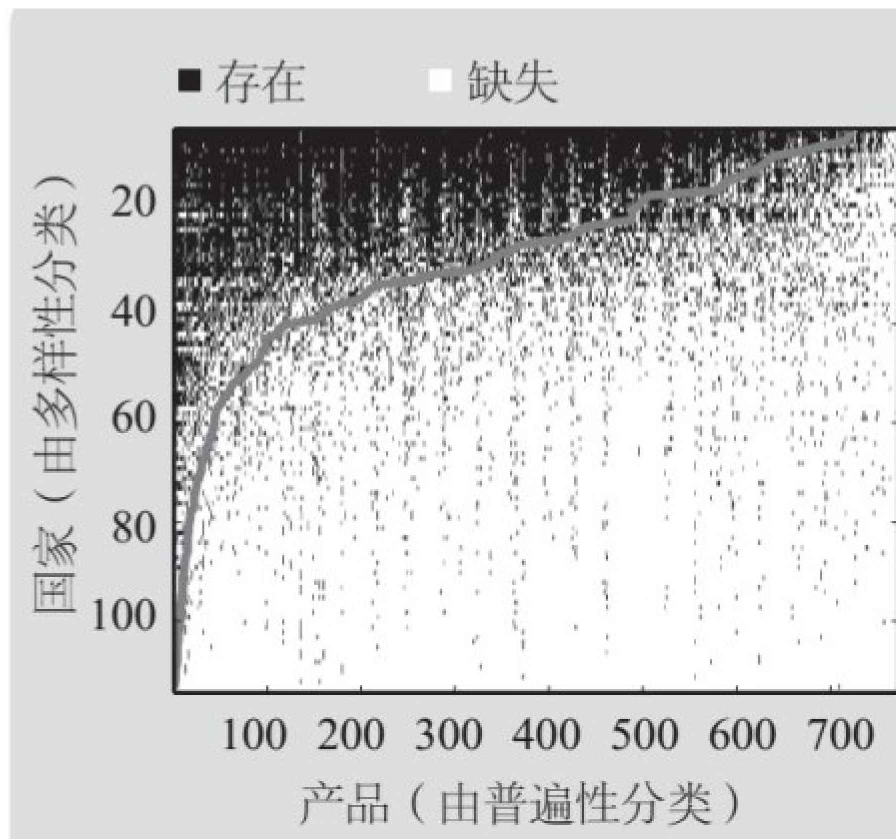


图9–1 国家——产品网络（2000年）

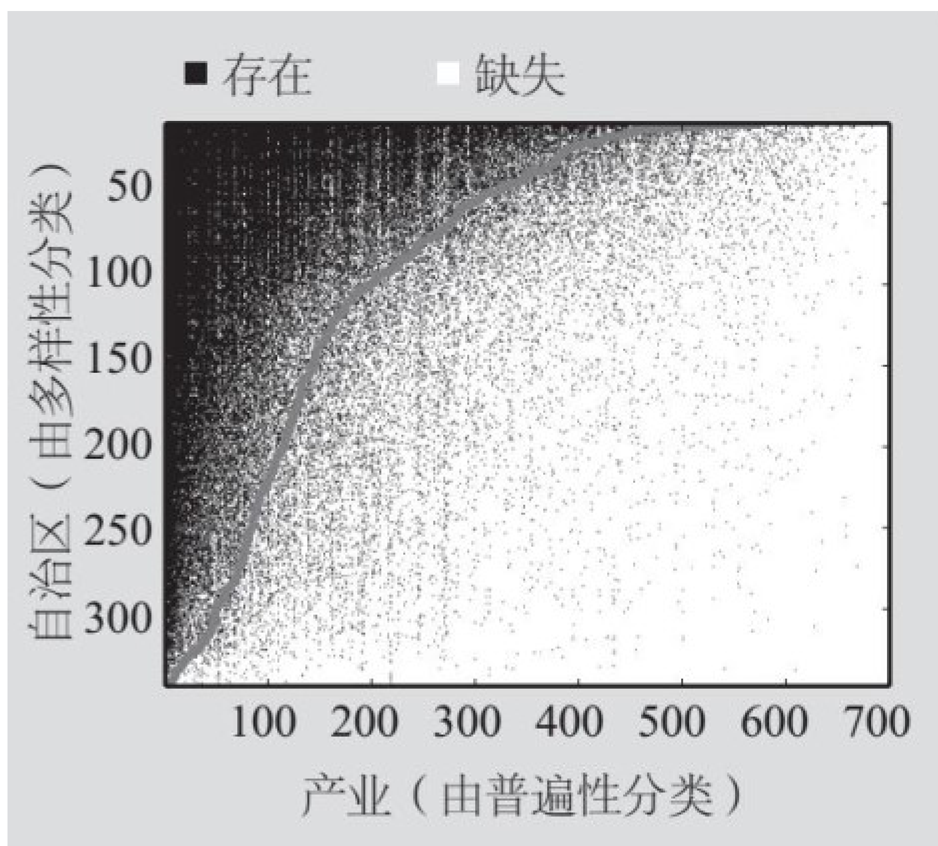


图9–2 自治区——产业网络（2005年）

大多数国家出口的产品中都有衣物，比如内衣、衬衫和裤子。只有极少数的国家出口光学仪器、飞机和医疗影像设备。这个快速的检视显示出“更简单”的产业——需要更少知识技术的产业——会出现在更多的地方。这似乎很明显，因为制造需要更少知识技术的产品应当更容易。然而，一个产业的普遍存在与否并不能清晰地说明其所需的知识技术。在极少数国家出口的产品中我们还能找到一些矿产，例如铀矿石。所以问题是，我们如何区分铀矿石的稀少性和医疗影像设备的复杂性呢。注 答案是，我们需要看看出口医疗影像设备的国家的产业多元性，其多元性通常高于出口铀矿石的国家。

大体上我们发现，结合一个产品的普遍性及其出口国的产业多元性，我们就能迅速识别出一些复杂的产品。[6]结果是，有清晰的趋势显示最复杂的产品只在少数几个产业多元化的国家生产，而简单的产品

则在大多数国家生产，包括那些只造几种产品的国家。这和我们“普遍的产业需要更少的知识技术”的经验相符。正如我们将看到的那样，这些小块的知识技术更容易在世界范围传播。

所以，产业结构与知识技术的可利用性相联系的第一部分证据，就是人比理论解释产品的普遍性和产业——位置嵌套性矩阵的能力。人比理论显示，制造复杂产品的知识技术必须在更大更复杂的网络中积累。因此，它表明了在一个位置的多元性和出现在其中的产业的普遍性成反比关系。然而，像罗伯特·普特南在《独自打保龄球》中指出的那样，一段证据不能只由一个点来支撑。所以我们证据中的另一点不仅会用人比理论解释产业——位置矩阵的嵌套性，还会对这些矩阵如何运作进行解释，即国家的多元化道路和产业地理位置分布的变化。

我们可以将一个国家产业轮廓的进化想象成一个七巧板游戏。确实，移动一个复杂产业像是将一个七巧板从一个桌子移到另一个桌子上。拼图的块数越多，越难移动，因为如果我们不能同时移动所有拼图，拼图就会分崩离析。所以，一个“移动七巧板拼图”的简单方法就是，将其中几块移到一个已经有同一个拼图的剩余部分的桌子上。试图移动网络有着同样的问题。需要更多知识技术的产品代表了一个更大的七巧板拼图，因此只能在少数几个地方生产，原因在于你需要的拼图越多，你找不到其中一块的可能性就越大。七巧板拼图的类比还告诉我们，在已经有许多所需“拼图”的地方，产业更容易成功。成功率的区别可以被看作一种倾向：在已储存有产业所需的大量知识技术的地方和社交关系网，该产业就会更容易出现——因为它们已经发展出了一个或更多的相关产业。在商学院和区域发展圈里，这个效应被称作“接近相关变种的多样化”（diversification toward related varieties）。通俗地说，生产窗帘的地区已经预适应了生产桌布而非咖啡机。[7]

产品所需的知识技术和产业所体现的知识技术之间的相似之处，有助于加强我们所观察到的产业——位置矩阵的嵌套结构，因为它说明了对知识技术的人比量需求大的产品，需要那些已经处于产业多元化地区的人群中的人比。但是嵌套结构并不能告诉我们哪些产业是相似的，因为生产两种产品所需的知识技术之间的相似处并不能体现出产品的普遍存在性。回到生物方面的类比上来，从整体的复杂性来讲，我们可以说斑马和鳄鱼可能是相似的，但是从斑马进化到马可比从鳄鱼进化到马要简单得多，这只是因为斑马所属的种类已经有了很多成为马所需要的特性（长腿、毛发、适于吃草的消化系统，等等）。[8]所以，为了确定两种产品是否相似，我们需要估量除了其普遍性之外的相似之处。现在有两种方法，一种是通过分析有关产业位置的数据来确定，另一种是通过对比两个工厂所雇用的员工来确定。我们可以用这些数据去检验新产业的发展是否对已存在的相似产业具有积极影响。

要检验产业相似性所带来的潜在优势，其中一个方法就是引入一个叫作产品空间的概念：即一个连接起相似产品的网络。从全球范围来看，我们可以通过观察那些更容易放在一起出口的产品来衡量两种产品间的相似程度。即假定，把两种产品放在一起出口可以展现出它们之间的相似性（比如，如果生产衬衫跟生产上衣很相似，那么出口衬衫的国家更有可能也出口上衣）。如果国家内部经济体系中，各产业所雇用的职位的数据公开，那么我们就可以把那些倾向于雇用相似职位的产业联系起来（就相当于替代了产业所需的特定的人比数据）。[9]

为了说明产品空间这个概念，想一想以下三种产品：香蕉、杧果还有自行车。根据国际贸易数据，我们可以说，杧果与香蕉相似，与自行车不相似，因为出口杧果的国家有更大的可能也出口香蕉而不是自行车。根据国内的数据，我们也可以这样说，杧果与香蕉而非自行

车相似是因为生产杧果的公司倾向于雇用在同类公司，比如生产香蕉的公司工作的员工，但自行车制造商则不会这样做。

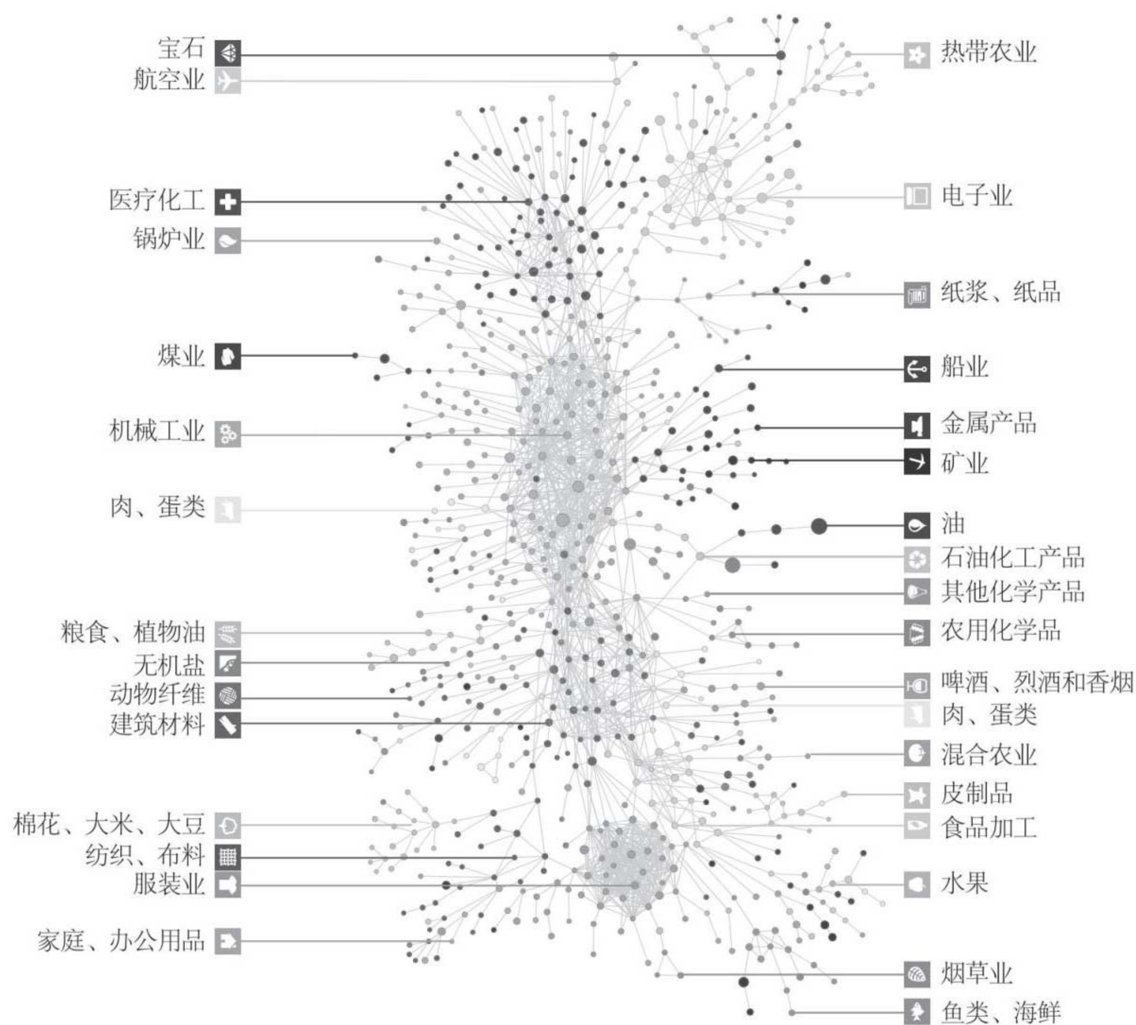


图9–3 产品空间

资料来源：atlas.media.mit.edu

产品空间的一个巧妙之处在于，它本身可以使经济多元化的过程形象化，提供一种漂亮的可视化形式来表现该过程。图9–3展示的是一张用国际贸易数据构建出的产品空间图。在这个网络中，每个节点都代表一种产品。其间的连线连接的是更有可能被同一个国家出口的商品。节点的规模可以解读出国际贸易的信息（大的节点代表大规模的市场），同时节点的颜色用以区分这些产品的种类（比如服装、电器

还有无机盐，等等）。（想了解这幅图的彩色版本，同时想关注超过50年的更多关于国际贸易的数据，请登录atlas.media.mit.edu。）

产品空间是一张美丽的图，但是当你用它去形象化一个国家出口结构的动态时，它展现经济发展过程的魔法就会产生。图9–4展示了马来西亚在1980年和1990年的出口状况。这里，深色的节点表示马来西亚出口的商品，浅灰色的节点表示马来西亚没有出口的物品。作为一个网状的展示图，产品空间不仅能让我们看到一个国家出口了什么，还能让我们看到与出口货物相关的产品。在马来西亚的例子中，我们可以清楚地看到其生产结构正在朝着相关产业发展。1980年，马来西亚出口了电子业（左上角部分）和服装业（右边部分）的一些商品。截至1990年，马来西亚的经济更为多元化，但是它的多元化并不是随机而来的。正如人比理论所预测的那样，通过共同出口模式估计，马来西亚的经济多元化来自一系列彼此所需知识技术相似的产业。这个观测结果在统计学上大体相符并且被其他研究员所认可。[10]

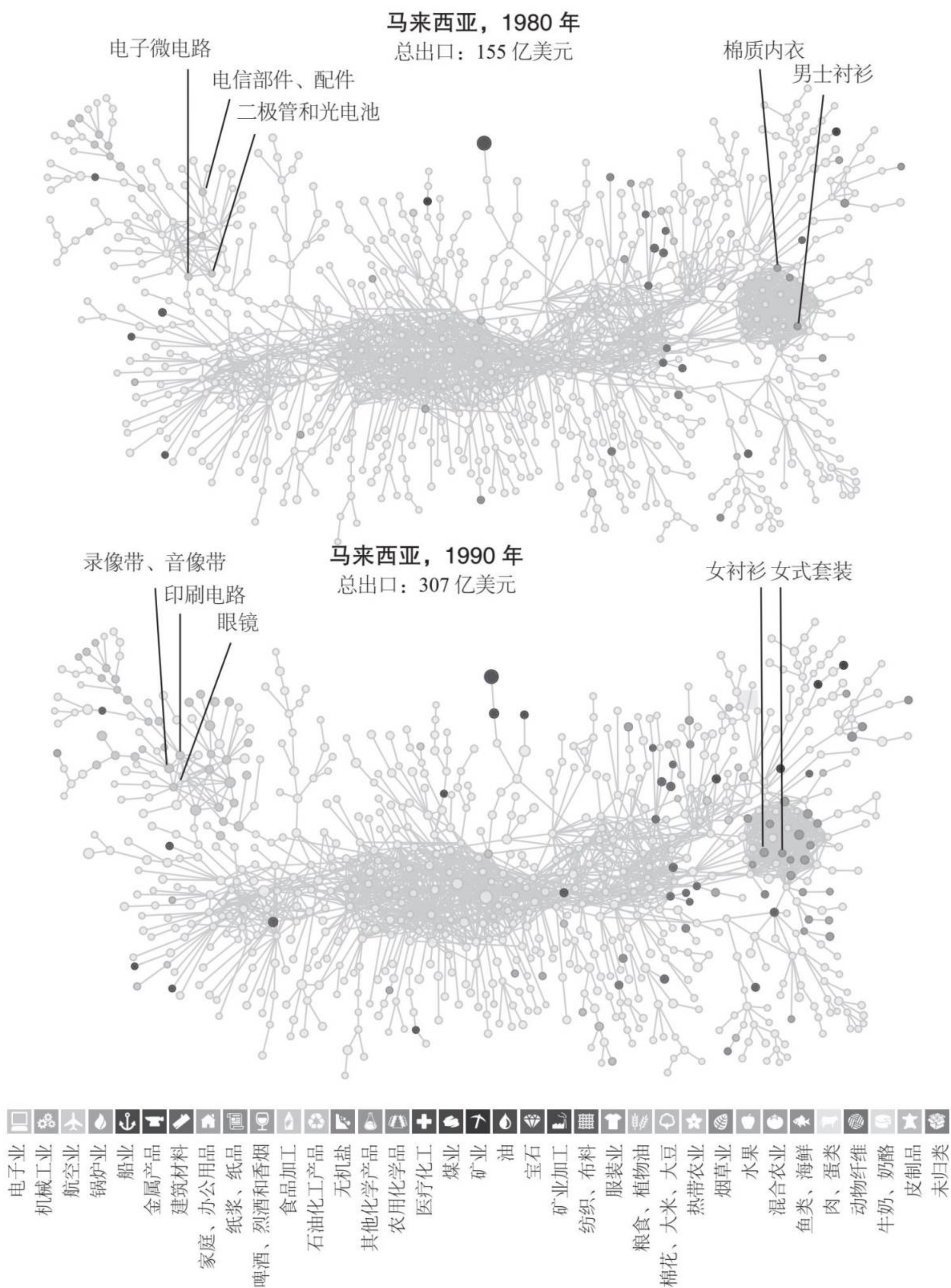


图9–4 马来西亚1980年和1990年在产品空间方面的情况

注：关于这幅图片的交互式彩色版本请浏览网站（atlas.media.mit.edu）或者通过http: //atlas .media.mit.edu/explore/network/sitc/export/mys/all/show/1980/ 查看1980年的照片以及 http://atlas.media.mit.edu/explore/network/sitc/export/mys/all/show /1990/ 查看1990年的照片

同样的观测结果也适用于巴西的国内数据，其中包括产品和服务的国内生产数据。在这里，我们运用来自DataViva网站的可视化处理来形象化整个巴西正式经济体系的数据，该站点是由我、艾利克斯·西莫斯和戴夫·兰德里一起创建的。[11]我们以巴西的新利马市为例进行阐述，它位于贝洛奥里藏特。DataViva使用的是有关雇佣情况的资料，而非出口信息的资料。这样的话，我们就可以构建一个连接起所有经济体的产业空间，这个产业空间也包括有关非出口的部分，比如教育、餐饮或者道路建设公司。在图9–5所展示的形象化图片中，如果两家公司倾向于雇用相似的职位，那么它们的节点就会被连接起来。[12]（举例来说，公路、铁路建设与建筑建设相连，因为这两个行业都雇用土木工程师助理、建筑工人、砌砖工还有挖掘机技工，而不是其他的职业。）我们看到的关于新利马的图跟我们之前分析的马来西亚那张很相似。但与马来西亚在电子制造业上的多元化不同，新利马的多元性体现在软件出版和计算机咨询（属于右边信息服务的类别）以及站点的选址、拆除和实用建设（属于左边建设活动的类别）上。

产业——位置网络的嵌套结构以及国家与地区在产品空间的动态这二者，表示了我们先前所谈到的人比理论和客观世界中的经验之间的重要联系。[13]因为一个产业的存在与它所代表的知识技术之间的联系是双向的，所以产业的逐渐发展就暗示了该地区的知识技术积累会缓慢地偏向这些地区内已存在的知识技术。

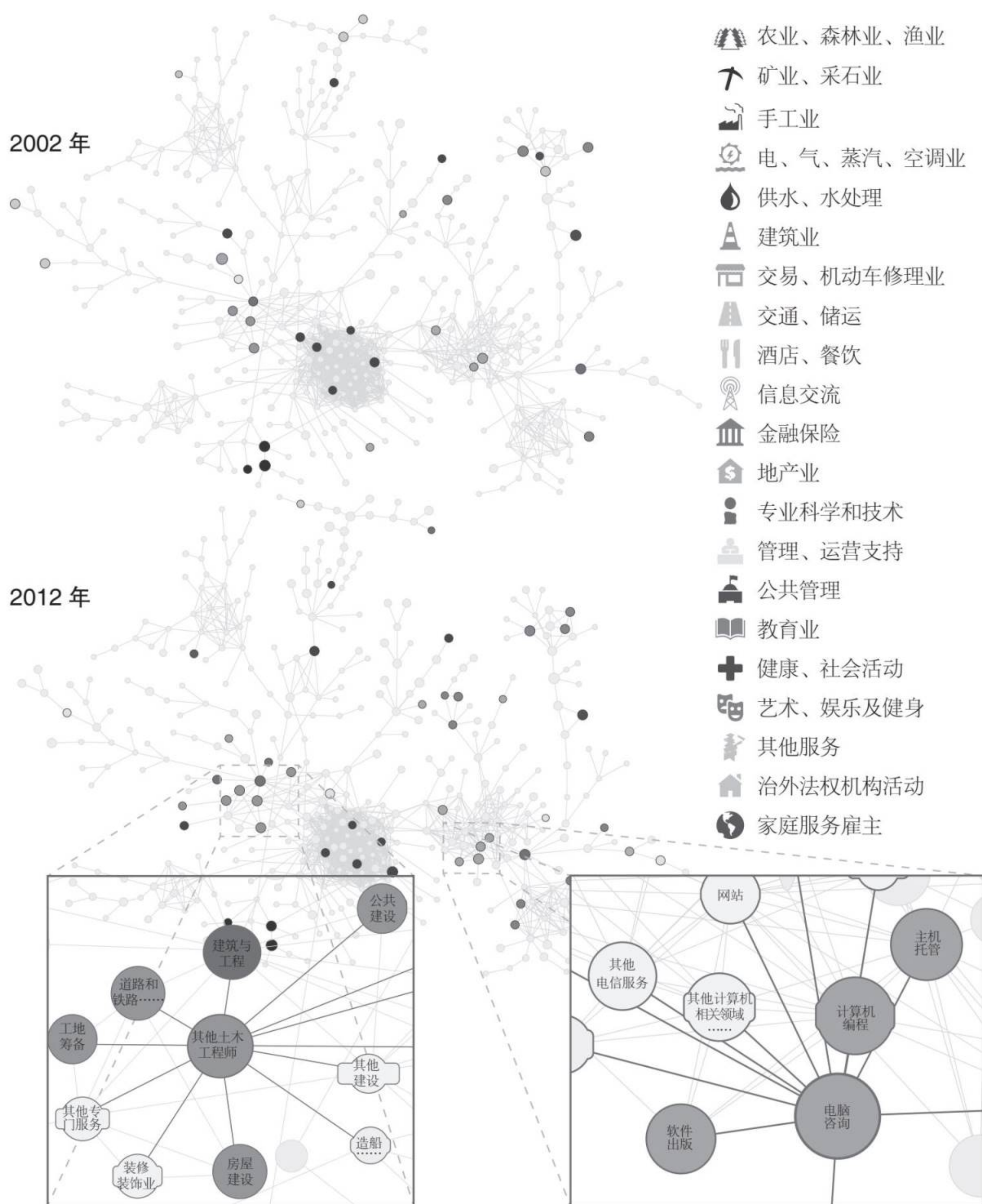


图9–5 2002年和2012年新利马产品空间的发展情况

资料来源：dataviva.info

这说明，知识技术需要产业的存在，正如产业需要知识技术的存在。实际上，如果认为知识技术可在缺乏需要此种知识的产业的地方积累，那就太天真了。回到基因的类比上来，我们可以说眼睛的颜色是基于基因的，就像决定眼睛颜色的基因的存在是基于眼睛的存在一样。所以，产业可被看作知识技术和其他当地因素的体现，反之亦然：产业代表了我们去积累这些包括知识技术在内的要素所需的结构。

想一想硅谷，这个具有很多与软件、硬件和网站相关的知识技术资源的地方。硅谷的知识技术并不存在于一群常年待业的专家那里，而是存在于那些正在参与软件和硬件开发的企业专家中。事实上，硅谷大部分公司在历史上都是相互有高度联系的。在创立苹果公司之前，史蒂夫·乔布斯在雅达利工作，斯蒂夫·沃兹尼亚克在惠普工作。像之前提到的那样，史蒂夫·乔布斯还因“借用”了帕洛阿尔托研究中心图形用户界面和面向对象编程的想法而出名。如果惠普、雅达利和帕洛阿尔托研究中心没有位于硅谷的话，那么建立苹果公司所需要的知识技术很可能也不会有了。因此，在产业多元化的进程中，那些需要其他产业知识技术的产业是一块至关重要的垫脚石。

人比理论也有助于我们解释清楚为什么大量的知识技术都很难积累和传递，以及为什么知识技术会处于产业——位置数据的嵌套结构所描述的等级模式之下。这是因为，大量的知识技术需要通过强大的人脉网络来体现，同时传播或者复制强大的网络不像转移一小群人那样容易。结果就是，产业——位置网络嵌套在一起，而国家会移向在产品空间中彼此靠近的产品。

但是每个规则总会有例外，在少数情况下，生产网络可以被转移。举个沃纳·冯·布劳恩的例子，在第二次世界大战之后，他被带到美国来帮助建造火箭。与他一起来的还有100多位与其在德国共事的科学家。在他的团队和这些早有准备的美国火箭科学家共同努力下，沃纳

帮助这个网络了解了发展航天火箭的建设需要什么。但是，在一个大部分国家还不能制造喷气发动机或航天火箭的世界上，像“沃纳网络”这样的例子并不常见。移动“沃纳网络”的成就包含了对于人比理论直观上的理解，同时历史和政治因素也起了很大的作用。然而，从人比理论来看，我们可以把沃纳技术上的转移想成是产品空间中跃进一个新产品的成就。因为在20世纪中叶，美国航空航天产业的发展是很好的，所以这种尝试更可能在美国成功而非一个发展中国家，发展中国家没有准备好那么多沃纳所需的完成其七巧板拼图的碎片。

现在我们有两条支持人比理论的证据。第一是人比理论用来解释产业——位置网络的嵌套结构的能力。第二是人比理论用来说明倾向于生产相似产品的产业多元化的动态的能力。我想在这里讨论的最后一点跟之前的有些不同，因为它把国家生产结构与收入和经济发展联系了起来。下一章我会说明，一个国家出口产品的多元化能高度预言其未来的收入水平，这暗示了一个社会所体现的技术会牵制其繁荣水平。而且通过把收入因素考虑进来，我会将人比理论与被用来解释经济增长的传统宏观经济模型及理论联系起来。这将会帮助我们将经济的增长看作某些更基础的东西的结果：信息的增长。

---

1. 勒布朗·詹姆斯，身高2.03米，美国男子职业篮球联赛运动员，现效力于克利夫兰骑士队。丹尼·德·维托，身高约1.524米，喜剧演员。——编者注
2. 铀矿石和医疗影像设备的出口国都较少。——编者注

第十章
第六种物质

一共有两块面包。你吃了两块，我却没吃。平均一下：每人一块面包。

——尼卡诺尔·帕拉

有许多种不同的方式来描述经济。一种方式是遵照传统宏观经济的教科书，把经济分解成一个个生产要素来理解，这里的生产要素包括物质资本、人力资本以及劳动力。另一种方式则是遵循自然科学的教科书，按照我们分解其他事物的方式分解经济：分为能源、事物和信息。我们将在本章看到，这两种解析世界的方法并非完全不兼容。实际上，知道如何结合这些方法对我们很有启发，因为这样可以帮助我们以物理量和社会历程来解读传统的经济要素。而且，通过把经济要素和其物理解释联系起来，我们会认识到我们还需要考虑另外一个要素。这个额外的要素就是指集体水平上所积累的知识技术，这个要素导致了经济活动的繁复和多元性，我把这些称为“经济的复杂性”。

在经济学上，用生产要素（比如资本和劳动力）来描述本质有着悠久的传统。亚当·斯密把经济分解成土地、劳动力和机器——最后一个就是现代经济学家所指的物质资本与技术的结合体。[1]斯密将机器或者固定资本与人们生产能力的增长画等号，因此他将物质资本的积累视作经济增长的决定性因素。他写道：“固定资本的目的是为了提高劳动的生产力，或者是为了使相同数量的劳动力做更多的工作。”[2]斯密将机械的进步，例如与他同时代的詹姆斯·瓦特发明的蒸汽机，视作人

们生产能力的进步："机械的进步……使相同数量的工人运用更便宜和更简单的机器做相同数量的工作。"[3]

20世纪，斯密的想法被经济学家用数学方式表达了出来，这些经济学家运用微积分学和微分方程建立了取决于不同形式资本积累的经济增长模型。最早的模型把经济产出等同于经济整体处于平衡时经济体资本与劳动力之间的比率。他们还将经济增长模拟为经济系统中的储蓄率（存起来为了以后用的资金）和资本折旧（资本的消损）之间的激烈竞争。

在19世纪50年代，罗伯特·索洛改进了原来的经济增长模型——这是一个恰到时候的发展，因为估量这样的模型所需的数据在彼时刚刚出现。生于俄国，发明了"GDP"这个词的经济学家西蒙·库兹涅茨，已经在几十年前完成了国民经济核算体系的创建，从而产生了主导20世纪的经济度量标准。[4] 然而，与经验数据相比时，索洛的模型并没有达到很好的测量效果。正如库兹涅茨在其诺贝尔颁奖典礼的那次著名演讲中所说，"早期基于这些度量标准的理论都是以一种狭义的方式来定义生产要素的，并把生产力的提高留作一个无法解释的空缺，成为对我们无知的衡量"。[5]

库兹涅茨所谓的"对我们无知的衡量"就是学术上为我们所知的"全要素生产率"（TFP）。全要素生产率就是经济学家们所指的，模型所预计的经济产出和经验数据中的经济产出之间的差距。（这个差距被解释为在给定一定输入量的情况下，一个经济体系可以产生的输出量。）[6]这个差距促使经济学家们以索洛的学说为基础，在20世纪后半叶推进了新的经济增长模型的发展，改进了原有的索洛模型。[7]新的模型包含了新的要素和数学工具来处理要素生产和积累的过程。

但并不是所有的经济学家都同意，使用集合是最好且唯一能解释经济增长和发展的方法。索洛的博士生导师、诺贝尔经济学奖得主瓦

西里·列昂季耶夫声称主要问题在于对于集合的依赖会使我们忽略了关于具体产业的信息。列昂季耶夫1971年写给美国经济协会的信中说道："面对很多组变量，最好的方法是取其平均或者其他类似方法以减少其数量，然后把它们结合起来形成更大集合这样的时代已经过去了。现在我们可以操控复杂的分析系统而不用抹杀其中的元素特性。"[8]在哈佛商学院研究竞争力的一位十分有影响力的经济学家迈克尔·波特，也曾担心过对集合的过度依赖。他倡导用"专业化要素"来代替。波特在《竞争论》这一著作中曾谈论过国家的竞争力：

> 根据标准经济理论，生产要素——劳动力、土地、自然资源、资本、基础设施——将决定贸易流通的速度。如果一个国家自身在某些要素上具有相对较好的条件，那么这个国家就会出口那些能最大化利用这些要素的商品。这一起源可追溯到亚当·斯密和大卫·李嘉图，根植于古典经济学的学说，乐观点来说是不完整的，悲观点来说甚至是不正确的……与传统观点相反，仅仅拥有高中甚至是大学学历的普通劳动力在现代国际竞争中根本代表不了竞争优势。为了获得竞争优势，每一个要素都必须被高度专业化来满足行业的特殊需求——专门从事光学研究的科学研究机构，专门投资软件公司的风险投资……竞争优势是世界级机构的存在所造成的，这些世界级机构首次创造出专业化要素，然后持续不断地对其进行升级。[9]

然而，索洛的模型和经验数据之间的不匹配并没有使理论的天平偏向支持列昂季耶夫一方。20世纪下半叶，在其他社会科学家的帮助下，经济学家继续寻找可以被纳入经济增长总量模型的其他要素。

在经济学主流中第一个确立下来的要素就是人力资本——好比人所具有的知识技术的速写。人力资本这个想法可以建立于理论模型，也可以建立于经验上的突破。[10]在一篇颇具影响力的论文中，格里高利·曼昆、戴维·罗默和戴维·威尔扩展了索洛模型和现有的数据之间的

经验性比较，使之包含了人力资本。[11] 他们所用的人力资本的测量数据包括学校招生数据，作为对于教育、学习、知识或者技术的非最佳替代。[12] 不过，该模型解释了1960~1985年间观察到的一些索洛模型未解释的经济增长。该模型还被视为索洛理论的一个重要预测，这个预测就是将人力资本考虑进来后，与不富裕的国家相比，相对富裕的国家会以一个更温和的速度发展。索洛的理论并没有错，但正如很多科学进步一样，它是不完整的，而人力资本的概念有助于完善该理论。

然而，人力资本并没有消除数据和已经被索洛模型所揭示的理论之间的差距——这个差距被称为“对我们无知的衡量”。在某种程度上，这是实际经验的局限性造成的。学校教育当然不是知识技术的良好替代品，因为顾名思义，它是指达成某种成就所花费的时间的度量，而非人们头脑中知识的体现。标准化测试有助于整合一个学生所具有的基本技术的信息，但是作为对于人力资本的度量，作用就非常有限了，因为它们并不能整合包含在学生群体中的多元化信息。此外，标准化测试在像创造性和责任心这样的重要技术的度量上不起作用。最后，人力资本的度量也无法捕捉人们在团队中工作的能力，因为即使有着同等水平的技术，某些团队依然可以在很大程度上比另外一些团队生产效率更高。[13]

所以，这再一次说明新要素的添加在我们对于世界的理解和经验性认知之间留下了一个重要的空缺。事实上，这个空缺仍然很大，大到足以让我们引入另一种形式的资本。20世纪80年代末，“社会资本”的概念开始成为一个有力的解释。社会资本强调的并不是机器或者个人知识，而是与其他人沟通联系的能力。

正如我们前面所看到的，社会资本的概念就是，社会关系具有经济价值。这个想法在理论上完全合理，但是在实际经验的估计上很难体现。衡量社会资本需要发展出社会网络和文化价值的衡量方法。从

本质上来说，找到这样的衡量方法比衡量全球范围内物质资本甚至是教育资本的储备还要难。我们需要产生新的数据来衡量它。

但社会资本难以衡量的另一个原因是：社会关系可以通过很多不同的方式具有经济价值。想想桥接型社会资本和结合型社会资本之间的区别，这个区别在文章中经常被提到。[14]桥接型社会资本，顾名思义就是指联系起个人所有而周围的人不知她所有的社会资本。她可以决定自己所有的信息或物品在自己所属的圈子中的来去，她也可以凭借自己在社交网络或职业网络中所处的特殊位置重新整合信息。

桥接型社会资本对于销售、中介以及管理都是很重要的，而且已被认作银行经理和创新团队成功的一个重要指标。[15]但是桥接型社会资本并不能完整地描述人类关系的经济价值，因为结合型社会资本也是很有价值的。

结合型社会资本与桥接型社会资本相补。结合型社会资本是在联系紧密的社会结构中积累起来的。这些是我们同最好的朋友和终身合作者所分享的联系。结合型联系也是我们用于生产东西的联系，因为复杂的生产活动无法在一群不经常互动的人中进行。换句话说，结合型社会资本代表了一群人作为一个团队一起经常互动的隐性能力，使之不同于能让拥有桥接型社会资本的个人产生经济价值的不对等信息。

桥接型社会资本和结合型社会资本是两个对立的概念，但是两者对于经济活动来说都十分重要。若一个经济体里所有人都是交易者，那么这个经济体是没办法进行贸易的。由此类推，一个由多个技术丰富但彼此不联系的团队组成的经济体会错失很多大好机会，因为这个经济体既不能产生使得商品货币化所需的经济交流，也无法产生创新团队进行革新所需的信息流。

重点在于，描述社会资本的特征并不容易，这不仅因为它的集体性本质，还因为一旦我们把社会资本这个概念拆开来看，我们会发现它不仅仅局限于一个概念。社会资本这一概念包括了桥接型和结合型社会资本，同时也包括如陌生人信任度这样的文化价值观。

这些局限性使得对社会资本的衡量很难建立，同时局限性也意味着这些测量方式只在为数不多的国家可行。但到目前为止，研究人员收集到的那一小部分社会资本数据仍然显示了社会资本的确对经济增长及管理起促进作用。在20世纪90年代中晚期，一些颇具影响力的论文开始把社会资本加入到经济增长模型之中，在掌握了先前所知的要素后，他们发现社会资本和经济增长之间有着正相关联系。[16]尽管从实证的立场来讲，社会资本很难理解，但它依然与经济增长有着某种关系。

所以，在进入21世纪后，我们对于经济增长的理解就和以下的5个要素紧紧联系在了一起：实物资本、人力资本、社会资本（其中包括体系）、土地（包括地理因素，如矿产资源、气候、距离海洋的远近等）和劳动力（即人）。当然，我们可以就每个要素的规模、分类和经济相关性进行争论，但不容争议的是，在过去的一些尝试中，这5个要素已经被用来解释经济增长了。

现在我要依据物质、能量、技术和信息等方面重新解读一下这些要素，并且把这些要素与我在之前章节提到的知识、技术、信息的集体积累联系在一起。先说实物资本，实物资本可以是一台洗衣机、一栋楼、一辆汽车、一辆搅拌车或者一把勺子。一台洗衣机对于一个自助洗衣店来说就是实物资本，就如同一把勺子是一个饭店的实物资本一样。但这些东西的共同点是，它们都是想象力的结晶。所以，我们可以用我们自己的语言来描述实物资本——它们是携带用于创造、有实际用途的知识技术的信息在物质上的具体体现。实物资本是由具象化的信息组成的，它等同于第二章中所详细描述的想象力的结晶。

现在再让我们说说人力资本和社会资本。一方面，人力资本是社会中具象化到个人的知识技术的储备，与具象化到社交关系网中的知识技术不同。另一方面，社会资本是社会的连接能力，是一个社会形成能够积累大量人比的知识技术的网络的能力。但是社会资本本身并不是具象化于这些网络中的知识技术，它是创造这些网络的能力。正如我们之前看到过的，这种能力取决于个人价值、交流和交通技术、规范标准和信任度。

这个概念蓝图中没有提到的是在公司和公司网络中，社会作为一个集体所积累的知识技术。下面我们将会看到，这种知识技术在很大程度上有助于我们解释经济产出并预测经济增长。

在解释该怎样描述社会集体拥有的知识技术的特征之前，我们需要讨论一个重要的差别。即，经济产出和增长的集合模型中常用的“储备”概念，与对于考虑了各元素特性的模型的创建来说极为关键的“多元性”概念之间的区别。

就像我之前提到的，传统衡量人力资本的方法，比如在校年数或标准化考试的分数，其缺点就是无法捕捉到任何关于具象化于社交关系网中的知识技术的多元性的信息（见图10–1）。一些学生可能在体育方面更有天赋，而一些学生可能在手工制作、数学或语言上有天赋。然而，考试却不能成功地考察这些多元化的信息，因为考试是用来衡量学生们共有的知识的，通常考察的技术范围很窄。

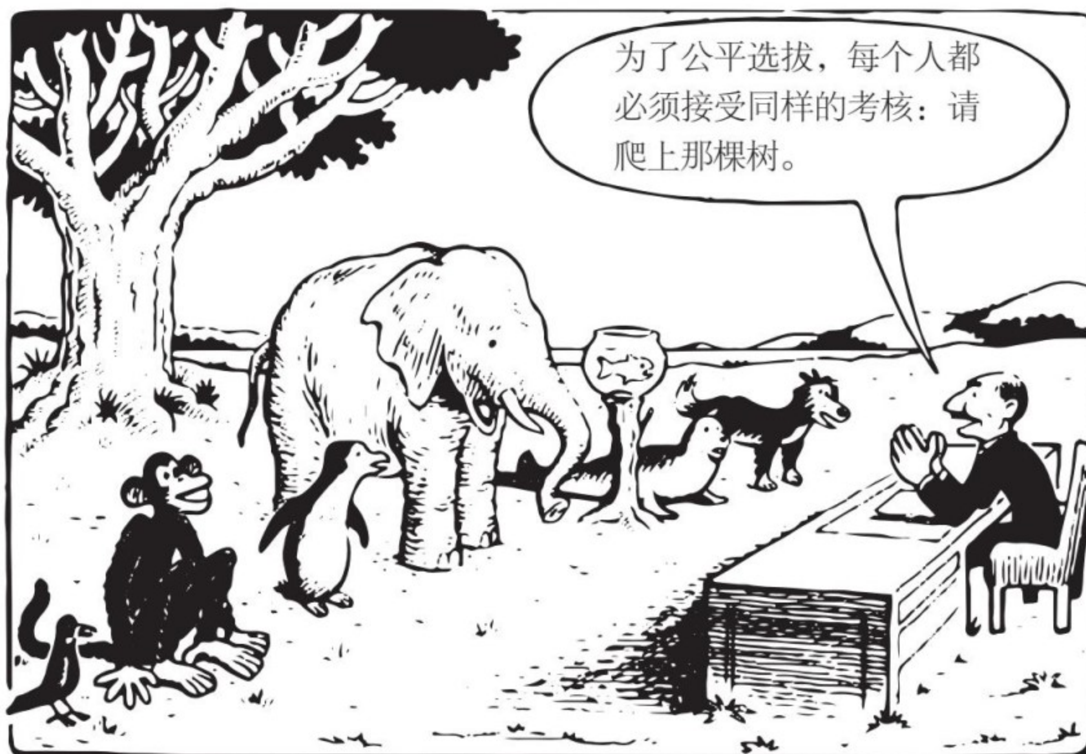


图10–1[17]

我们可以以同样的思维来批判实物资本的衡量。对于实物资本的衡量，传统的思考方式是把所有要素的价格相加。如果这样计算，我们可以说，只要价格累积相同，一个带有三个炉子但没有其他厨具的厨房和一个只有一个炉子但有其他厨具的厨房价值相同。用市场价格合计商品价值，这一想法相当于假设了市场中我们可以用不要的东西交换到所需的东西。[18]所以，在这个厨房的例子里，我们就能用我们多余的炉子换到我们缺少的炊具。虽然这个论证从理论上来说成立，但是现实生活中，交易资本通常不是那么容易。很多形式的资本都有其特定的用途，只为极少数人所求。而且当我们考虑到基础建设时，我们就进入了一个基本不可能交换货物或是项目的领域。试试，用你所有的三座桥换一个飞机场，或是用通信网络换一个高速公路系统。所以，如果我们推崇列昂季耶夫的建议并且保持经济体中所含各元素的特性，我们在衡量经济体时就要把考虑对象多样化、细致化，而非仅仅笼统地考虑骨干。不仅是考虑实际资本之时，当我们考虑知识技

术的时候也应该这么想。强调了多元性，我们就不再把苹果、橘子、车或矿物单纯地相加，取而代之的是在评估经济生产能力的同时，认清它们之间明显的不同之处。

但是，我们如何才能建立起对于融合了其元素特性的经济体的描述？这里我们将再一次使用有关产业和产品的数据。就像我在之前章节中论述的一样，地区产业所出口的产品的多元化代表了该地区生产能力的图谱，同时保持不抑制其所含经济元素的特性。所以，产业和产品的数据不仅告诉了我们关于具象化于地区生产网络的知识技术的事，还告诉了我们其中实物资本和人力资本的多元性的信息。

举一个例子，喷气发动机的生产能让我们知道一群在空气动力学、机械学、材料学和热力学领域有经验的人的存在，以及一批用于设计、检测、制造涡轮机的专业设备的存在。再来想想新鲜水果的出口。这个例子能让我们知道农业技术的存在，以及有稳定能源供给的冷藏用具的存在。除此之外，新鲜水果出口还告诉我们，有一个能在水果腐烂之前就把它们分派出去的有效率的海关存在，以及国际卫生和植物检疫的标准的存在。所以，产品出口不仅能让我们懂得知识技术和实际资本的多元性，还能让我们知道其中种种体系的质量。

我们可以在列昂季耶夫的著作里看到一个观点：产品代表了一个可以不用抑制其中元素的特性就可以描述经济体特点的可行方式。[19] 他的著作是建立在投入——产出模型之上的，这种模型总结了一个产业的产出用作其他产业的输入的比重。然而，这里我们要改进一下列昂季耶夫的观点，我们不使用投入——产出模型，而是转而关注出口数据。出口数据不能提供将不同经济成分联系在一起的信息，但它却有着能被大多数国家长时间利用的优点。而且与大多数向公众开放的投入——产出数据相比，这些归结下来的数据集合性不那么强（只有几千个产品，而非几十个产业）。所以，出口数据为我们提供了一面有归结性能的透镜，得以让我们在保留元素特性的同时研究经济。

正如我们之前看到的，着眼于其普遍性——有多少国家出口该产品——来描述一个产品的特点是有可能的，我们还可以通过出口该产品的国家的多样性来描述。此外，我们看到，同时使用产品的普遍性及出口方的多样性这二者来描述是非常重要的，因为这让我们区别开了因稀少而缺乏普遍性的产品（例如铀矿石）和因复杂而缺乏普遍性的产品（例如光学仪器）。现在我将用一个相似的理论来描述经济体的特点。

作为初步估计，我们可以只想想一个经济体制造或出口的不同产品的数量。经济体出口数量越多，那么这个经济体在个人水平和集体水平两方面上，知识技术的多样性就越丰富。但是仅仅计算一个经济体出口的不同产品数量，这样测量到的多样性无法让我们走得更远，因为多样性不包含任何关于出口产品复杂性的信息。两个出口相同数量产品的经济体不一定同样复杂，因为一个可以出口比另一个简单得多的产品。我们再次需要修正这个局限性。这次，我们将用普遍性来囊括有关该经济体出口产品特性的信息。所以，通过同时考虑一个国家的多元性和出口产品的平均普遍性，我们就可以创造出一个更微妙的描述。

考虑一个经济体出口产品的普遍性已经让我们的描述更进一步，但是它还是有很多缺点。就像我们之前看到的，产品的普遍性基本上是其复杂性的替代，所以从出口产品数量和平均普遍性来看一个经济体的特征，只能为该经济体提供一个粗略的描述。为了更进一步地完善我们对经济体的估量，我们要再次改进对出口产品的测量。并且，我们可以再次把出口某一产品的国家的多样性作为萃取蕴含在产品普遍性中的信息的方式。

用国家多样性去改进对产品的测量，并用产品普遍性来提高对国家的估量，这样的方法看起来似乎会无限循环下去。但实际上，这个循环是有明确的数学极限的。最终，这个循环使我在2008年建立了一

种测量方法，即称为“经济复杂性”。下面我们会看到，这个方法的奇妙之处就是可以高度预测未来经济走势。[20]

让我们通过一个例子来看看经济复杂性这个方法是如何运行的。图10–2是某国人均GDP和通过出口产品数量估计出来的国家多元性的关系图。图10–3则更为复杂，它是以另一种衡量方式来描绘人均GDP的，其中包括出口同一个经济体下出口产品的国家的多样性。这种方法更接近我们对经济复杂性的测量，描述下来有点拗口，但我已经尽可能用常用语解释了。但接下来我会进一步证明，比起单纯地测量多样性，它确实有着明显的优势。

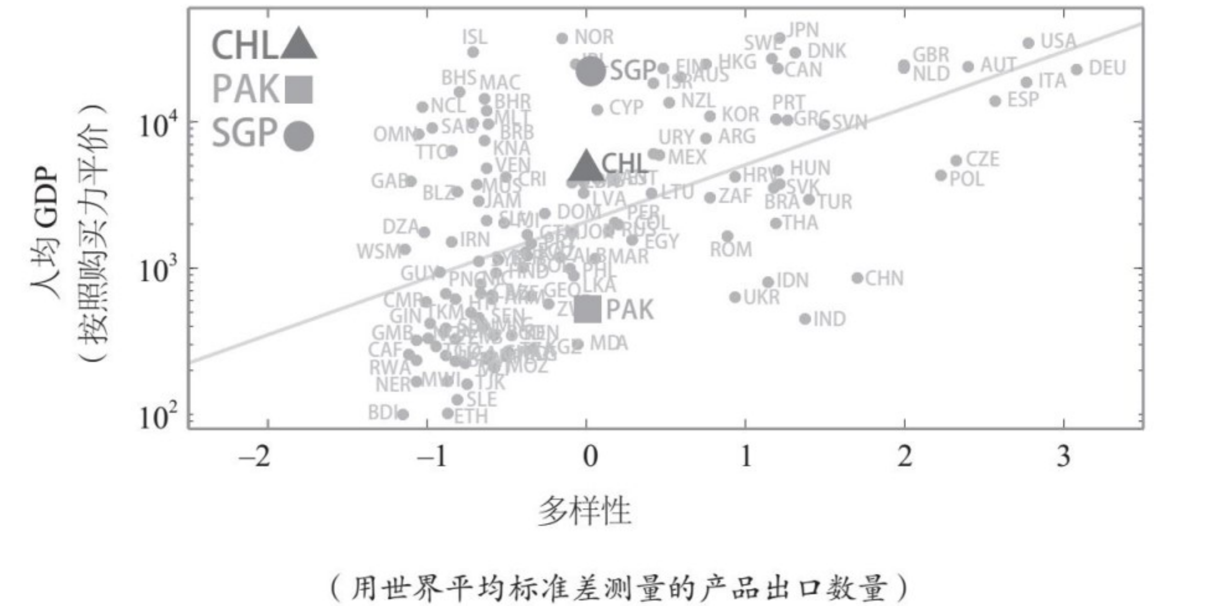
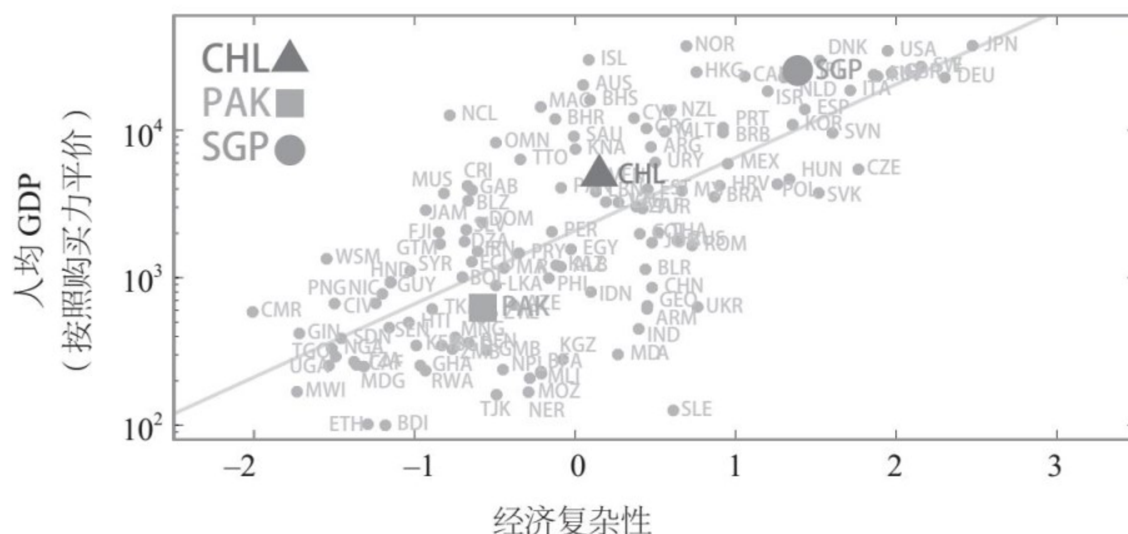


图10–2 人均GDP Vs 2000年出口多样性 注



（考虑到国家多样性和出口产品普遍性后的测量结果）

图10–3 人均GDP Vs 2000年经济复杂性

在图10–2和图10–3里我标记了三个国家，新加坡、智利和巴基斯坦。我选这三个国家是因为在2000年它们出口了相同数量的产品，所以我们无法只通过产品出口数量（多样性）来区分它们。因为新加坡、智利和巴基斯坦的人均GDP差别很大，而且这种差别的出现不是因为其产品出口数量，所以在图10–2中它们是竖直排列着的。一旦我们开始加入关于这些国家所出口产品的普遍性以及出口国家多样性的信息，这种排列就不复存在了。图10–3中新加坡在智利右边，智利又在巴基斯坦右边。这样的位移告诉我们，融入有关一个国家所出口产品特征的信息（通过其普遍性和出口国家多样性）能帮助我们认识到，新加坡的经济比智利的更为复杂，而智利的经济比巴基斯坦的复杂。

然而，这种观察经济复杂性和人均GDP之间关系的方法还不是最令人惊讶的，其解释人均GDP在长时间段内变化的能力才是这种经济复杂性测量方法十分重要的原因。

为了展示经济复杂性解释经济增长的能力，让我们看看图10–4。此图显示的是经济体的复杂性（用完整的数学公式计算出的）和1985年的人均GDP。图中，一个国家可能出现在以下所述三片区域中的一个。线以上的国家的人均GDP比经济复杂性所预计的预期值高，线以下的国家的人均GDP比经济复杂性所预计的预期值低。最后，在线上的国家的人均GDP与经济复杂性所预计的预期值相符。

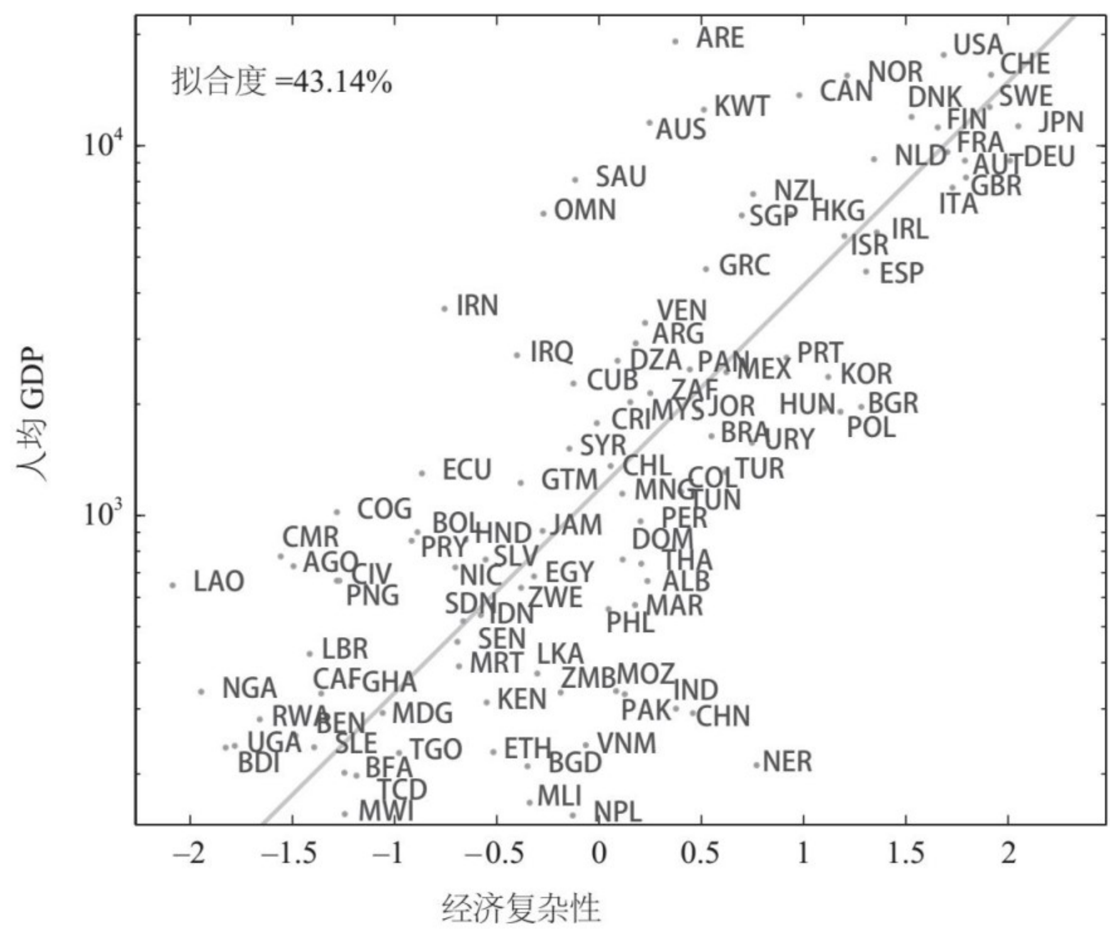


图10–4 经济复杂性Vs 1985年人均GDP

那么，随着时间的推移，这些差距会如何发展变化呢？在大多数情况下，线以下的国家，比如印度和中国，比线上和线以上的国家经济增长更快（图10–5）。这就意味着经过很长一段时间，国家的经济收入会倾向于与经济复杂性衡量出的信息相符。简而言之，国家的经

济复杂性可以预测国家的经济收入走势。毕竟，要想赚钱，就要制造嘛。

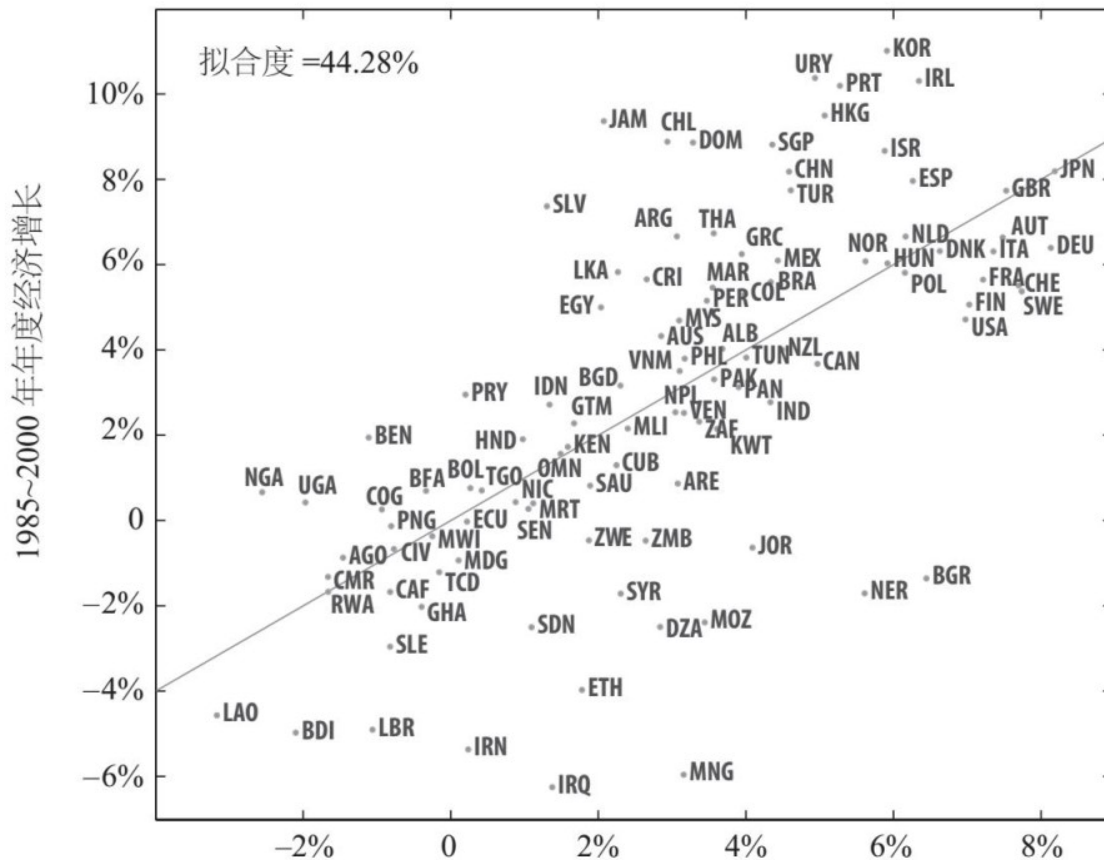


图10–5 1985年经济复杂性和人均GDP不匹配预测的经济走势和1985~2000年真实经济走势的对比图

但是在什么样的时间范畴内，经济复杂性才能预测未来经济走势呢？有趣的是，在5年以下的短期时间内，经济复杂性无法准确预测经济走势。因为（5年）短期时间内的经济很容易被经济危机、商品价格变动和一定程度上的汇率调整所控制、影响。而在一段较长的时间内（10~15年），经济复杂性就能高度预测未来经济走势，这就意味着这些方法捕捉到了有关一个经济体长期产生经济收入能力的信息。

经济增长和经济复杂性之间具有动态关系，其中一个关系就是一个国家生产和出口的产品决定了其经济收入的平衡水平。这就意味

着，一个国家的平均收入会慢慢靠近有相似经济复杂程度的国家的收入水平。另一种动态关系是，每个企业和行业都会向其自身的收入水平靠拢。举个例子，熟练的软件开发者不管在什么地方工作都能得到不错的报酬，而无论在什么地方干活，水果采摘工的工资都很低。这并不意味着同一职业或产业在不同国家的工资都相同，因为很明显事实不是这样。这意味的是，工资的国际差距促使在相同产业工作的人的工资向相等的价值靠拢，尽管这种推动力不强而且见效较慢。[21]

当把人均GDP和经济复杂性放在一起来审视世界时，我们就能看到很多很多的东西。一个显而易见的启示就是，人均工资低本身不会提供任何经济优势，只有那些比起其经济复杂性而言工资水平低的国家才有经济优势。

让我们想一想制造业从美国到中国的迁移。在过去的几十年里，美国媒体一直在用低工资来解释这一现象。但是有不少国家的劳动力工资明显低于中国，而且也有着大量人口：比如印度尼西亚，拥有超过两亿的人口；埃塞俄比亚，有8 000万人口；尼日利亚，有超过一亿的人口。然而，尼日利亚和印度尼西亚的人均GDP只有中国的1/2，据估算，埃塞俄比亚的人均GDP是中国的1/10。制造业没有转移到这些国家的原因很简单：这些国家缺少中国所具有的制造产品的能力——一种体现在中国所有城市、公司和人群的能力。通过与任何一个在中国制造业中心（比如深圳）批量生产产品的员工交谈，我们都可以得到一些非正式的证据来证明中国的这种高生产力。在深圳从事移动电话和电子产品制造的外地人会第一个告诉你，他们选择深圳是因为那里是最好的生产基地。在深圳，生产各种产品所需知识的人比十分充足，公司选择在这儿生产主要是因为它们希望用上这些能力，而不只是因为工资很低。[22]

***

这一章中，我们由总结著名的经济增长和生产要素之间的关系而始，从实物资本谈到人力资本，再到社会资本。这些要素能让我们解释世界经济增长差异的大部分原因，但同时我们也看到，它们被技术和概念上的显著缺点所制约。经济元素聚合起来的一个缺点就是，它们无法体现有关组成经济体的元素的特性的信息。由于只关注骨干而不注重实际情况的多样化，这些要素就会把苹果、橘子、炉子同冰箱叠加起来，把美术设计师同电子工程师叠加起来。正如列昂季耶夫和其他人警示过的那样，单纯地把经济元素集合、叠加起来是有局限性的，显然会出问题。在实际操作中，这个局限性很难解决。

然而，通过使用每个国家出口产品的数据，创造出一种能保留其中元素特性的经济测量方法就变得可能了。某种程度上，我们能这么做是因为联系国家及其出口产品的数据是以网络形式呈现的。在一个网络中，元素的特征不仅表现在其内在特点上（可能从本质上定义一个产品或国家的特性），还表现在节点的连接模式中——对一个国家而言，其中包括其第一邻元素（所连接产品的数量），第二邻元素（所制造产品的普遍性），第三邻元素（与其所连接产品同样相连的其他国家的平均数量），等等。

当然，这并不是测量经济复杂性的唯一手段。同样的数据可以用不同的方法来处理。而且，我们还可以使用不同的数据——例如将国家和产业、将产业和职业类型联系起来的数据——来创造取决于职业和地点之间（而非产业和地点之间）的网络结构的衡量方法。我们在这里不是说经济复杂性是唯一且最好的衡量方法，我们要说的是，通过发展能保留网络中经济元素特性的分析技术，经济复杂性是可以被测量的。

然而，这种新方法的代价很高，因为它提供了预测总体经济产出的模型，这种模型不仅融合了之前探究过的要素，比如机制、社会资

本、人力资本，还融合了有关一个经济体总体积累的知识技术的信息。

在下一章中，我们不谈国家经济，不谈生产要素和GDP，我们会从一个记叙性、生物学性和历史性更强的角度，来对比人类群体携带和解析知识信息的能力与生物界中与之等效的机制。这将会有助于我们探究系统以再现其促使信息增长的能力的机制。

---

1. 图10–2、图10–3、图10–4、图10–5中，国家和地区英文名缩写对应关系如下：智利（CHL）；巴基斯坦（PAK）；新加坡（SGP）；冰岛（ISL）；巴哈马（BHS）；新喀里多尼亚（NCL）；中国澳门（MAC）；巴林（BHR）；马耳他（MLT）；巴巴多斯（BRB）；圣基茨和尼维斯（KNA）；委内瑞拉（VEN）；哥斯达黎加（CRI）；毛里求斯（MUS）；牙买加（JAM）；沙特阿拉伯（SAU）；阿曼（OMN）；特立尼达和多巴哥（TTO）；加蓬（GAB）；伯利兹（BLZ）；阿尔及利亚（DZA）；萨摩亚（WSM）；伊朗（IRN）；圭亚那（GUY）；喀麦隆（CMR）；几内亚（GIN）；冈比亚（GMB）；中非（CAF）；卢旺达（RWA）；尼日尔（NER）；马拉维（MWI）；布隆迪（BDI）；埃塞俄比亚（ETH）；塞拉利昂（SLE）；塔吉克斯坦（TJK）；萨尔瓦多（SLV）；斐济（FJI）；巴布亚新几内亚（PNG）；尼加拉瓜（NIC）；海地（HTI）；土库曼斯坦（TKM）；尼日利亚（NGA）；多哥（TGO）；乌干达（UGA）；布基纳法索（BFA）；马里（MLI）；莫桑比克（MOZ）；塞内加尔（SEN）；赞比亚（ZMB）；苏丹（SDN）；贝宁（BEN）；蒙古（MNG）；孟加拉国（BGD）；肯尼亚（KEN）；尼泊尔（NPL）；坦桑尼亚（TZA）；吉尔吉斯斯坦（KGZ）；科特迪瓦（CIV）；马达加斯加（MDG）；亚美尼亚（ARM）；加纳（GHA）；阿塞拜疆（AZE）；格鲁吉亚（GEO）；危地马拉（GTM）；巴拉圭（PRY）；玻利维亚（BOL）；叙利亚（SYR）；白俄罗斯（BLR）；哈萨克斯坦（KAZ）；厄瓜多尔（ECU）；多米尼加（DOM）；阿尔巴尼亚（ALB）；菲律宾（PHL）；津巴布韦（ZWE）；斯里兰卡（LKA）；摩洛哥（MAR）；约旦（JOR）；拉脱维亚（LVA）；挪威（NOR）；爱尔兰（IRL）；塞浦路斯（CYP）；摩尔多瓦（MDA）；乌克兰（UKR）；罗马尼亚（ROM）；南非（ZAF）；克罗地亚（HRV）；立陶宛（LTU）；墨西哥（MEX）；乌拉圭（URY）；阿根廷（ARG）；韩国（KOR）；新西兰（NZL）；以色列（ISR）；澳大利亚（AUS）；芬兰（FIN）；中国香港（HKG）；瑞典（SWE）；俄罗斯联邦（RUS）；哥伦比亚（COL）；爱沙尼亚（EST）；巴拿马（PAN）；黎巴嫩（LBN）；马来西亚（MYS）；秘鲁（PER）；埃及（EGY）；巴西（BRA）；印度尼西亚（IDN）；葡萄牙（PRT）；日本（JPN）；丹麦（DNK）；希腊（GRC）；斯洛文尼亚（SVN）；斯洛伐克（SVK）；洪都拉斯（HON）；土耳其（TUR）；泰国（THA）；印度

（IND）；中国（CHN）；英国（GBR）；荷兰（NLD）；波兰（POL）；捷克（CZE）；奥地利（AUT）；西班牙（ESP）；意大利（ITA）；美国（USA）；德国（DEU）；加拿大（CAN）；匈牙利（HUN）；老挝（LAO）；安哥拉（AGO）；利比里亚（LBR）；乍得（TCD）；刚果（布）（COG）；毛里塔尼亚（MRT）；越南（VNM）；伊拉克（IRQ）；古巴（CUB）；突尼斯（TUN）；保加利亚（BGR）；科威特（KWT）；阿联酋（ARE）；瑞士（CHE）；法国（FRA）。

第十一章
知识、技术和信息的联姻

到现在为止，通过学习知识、技术及其实际应用，以及积累和传播以上三者的媒介的相关信息，我们对经济进行了一系列描述。这一系列对经济的描述侧重于对技术和信息的携带和解析，我们将知识技术实际应用于产品中的能力会如何增强我们的生产力，以及使商家和员工运转的、受限的技术映射出的技术的量化会如何限制经济的传播。

我们已经提到过到信息和技术是两个截然不同的概念。信息是指由编码序列体现的次序，例如音乐和DNA中的排列；而知识技术是指系统处理信息的能力。比如，在进行光合作用（植物从空气中吸收碳的过程）时生物的关系网络中就能找到跟技术相关的例子；能进行“自我繁殖”（几组人使用矿石制造汽车的过程）的人际关系网络会是个更加奇特的例子。

技术和信息有别，但是也紧密相连。一个系统携带技术的能力很大程度上取决于其利用信息重建所需技术的动态网络的灵活性。比如，种子就是一个非常完美的例子。种子其实是一个包裹，同时包含了一个植物（例如，一棵树）生长所需的技术和信息。一棵树的生长过程别无其他，就是在解析其基因信息的技术。一颗种子长成大树的变化解释了光合作用所需的技术，其目的是构造能将营养和水从地面传输到树叶，以及抵御害虫侵袭的结构。一颗种子长成大树的变化，是技术和信息解析较其本身更加复杂的结构，所以大树能发挥种子所缺少的机能。

但是这种技术和信息的解析是怎样发生的？这到底是DNA携带信息所产生的结果，还是种子的原始细胞中的技术和DNA携带的信息之间更复杂的关系导致的结果？

有理由认为，树的繁殖并非是单纯地“砰砰”吐出DNA。对于树木而言，如此简单的繁殖方法并不奏效。跟遗传物质相比，种子包含更多遗传信息。它们包括不同种类的细胞器，但是却不包括不能被获取、解析以及繁殖的DNA分子携带的信息。DNA对于生物有机体的繁殖是至关重要的，但是没有原始细胞的蛋白质和细胞器的关系网络，繁殖是无法进行的。往土地中撒一串DNA并无法种出树来，因为DNA缺乏解析自身的技术。事实上，DNA都没有技术也无所谓解析自己，它受制于解析自身的组织。

解析DNA的生物网络使用基因序列的模板和DNA的监管指令，以达到生产所需的蛋白质和细胞器的目的。生物网络会形成可以促使种子长成大树的结构。上述的例子诠释了生物界中的技术和信息之间的紧密联系，以及这样的联系会如何帮助生物有机体极高效率地携带和解析所需的技术。

DNA中的信息和种间关系的技术之间的紧密联系，提供了高效的技术再生和传播的模式。若一切条件完美，几颗种子可以长成一片森林，蜂后可以建立起一片领地，几只兔子在繁殖后可以占领整个澳大利亚。不过生物界中技术和信息的结合并没有人类和产物所存在的系统，也就是我们所说的经济。

同时，在生物学和经济中持续增长的大型关系网络涵盖了很多专业技术。例如，兔子比受精兔卵有更多的技术，并且在兔子的成长过程中不断累积。在生物学里，存在拥有有限技术的独立的结构。器官能够完成细胞无法完成的机能，兔子可以完成远超过其器官能完成的机能，而生态系统包含的技术超过了一个物种拥有的技术的总和（例如，生态系统能够调整环境，即使它并不知道自己有这种能力）。上

述的转接点，与前文我们讨论的人比和公司比的限制相似。这有助于我们理解技术和信息的联系解除时的程度范围。

通过DNA中的模板和指令，很多生物机体中的技术可以被装进一个小容器中。这个容器里包含密集信息的分子——DNA，还有重造复杂有机体所需的技术所在的关系网络。然而，生态系统中的技术，无法被塞进如此微小而精致的单位中。相比较单独的有机体的繁殖而言，生态系统的繁殖会变得更加困难，其毁灭也会造成更多麻烦。通过强调携带关系网络的技术的责任分担如何定义系统的承接点，经济和生物学之间的相似之处会更为明显。

宏观上来讲，经济有着生态系统中的再生限制。和生态系统类似，经济中存在大量的技术，并且只能通过在独立单位组成的关系网络中的分解和分配，来展现出存在的技术。换句话说，也就是通过中间结构的量化和具化，实现这一目的。在经济领域里，企业和人代替了生物学的牧群和有机体，但是量化原则却在两个学术领域内都适用。更为具体地讲，经济学仍缺乏DNA所具有的技术和信息的紧密联系。而正是这样的联系使生物有机体能紧紧地携带技术。有关工程学、艺术和音乐的书可以培养出工程师、艺术家和音乐家，但是却无法比拟长颈鹿胚胎分解DNA长成长颈鹿的精炼、神奇和效力。通过像书面信息一样传递指令和模板，比起同样的生物有机体中的能力，经济携带和解析技术的能力会受到更多的限制。这些不同也意味着在经济中技术的原始状态是未分解的。这也体现在关系网络中。即使通过阅读和写作的方式，我们可以获取一些技术，但是我们使用信息去获取技术的能力是极大受限的。所以，发达经济体中的技术无法轻松地被传播到其他地区。经济不像种子那样有和DNA与分子网络的紧密关系，所以它们需要创造整个生态系统，以将技术传递到其他地方。这个例子再次解释了为什么技术会受到地理上的限制，以及为什么传播知识技术的具有实际用途的东西（例如车），比制造这些东西的知识技术的传播要更加有效。因为缺少DNA细胞组合的等价物，所以经济

携带技术的能力的不足决定性地限制了经济的发展，同时也体现出技术的携带和解析是全球经济结构的源动力。

请设想如下的场景：假设把10个少年送到孤岛上并给他们配备无法被摧毁的太阳能电脑。电脑里包含了迄今为止所有的互联网、书、杂志的完整的复制品。对于这些青少年们而言，这个“DNA”是否足够用来解析这些复制品包含的5~10代人的信息？他们是否能够发展出一个社会，其中包含了我们现代社会中习以为常的冶金术、农业和电子学的专业技术，而这些技术悄然存在于他们所携带的书和网络的信息里？或者他们根本无法将信息解析为有效的技术，以至于完全无法重建出拥有任何可观技术的社会（如提出这个奇怪设想的社会所拥有的技术这般）？当然，通过实验再生这个所谓的“蝇王”[注]的方案是难以实现的，但是过去的一些实例告诉我们，当社会群体被孤立时，技术也会同时消失，而且再生某些地方仅存的技术也会十分困难，即使这样的想法很美好。

让我们来看看下面的三个例子。第一个例子是原住民被孤立后失去科学技术的故事。正如贾雷德·戴蒙德（Jared Diamond）在《枪炮、病菌与钢铁》（Guns, Germs, and Steel）中所提到的那样：“最极端的案例是塔斯马尼亚原住民形成的社会里，他们甚至放弃了骨器和捕鱼技术，以至于成为现代生活中拥有最简单科技的社会。澳大利亚原住民可能也曾使用过弓箭，但却在之后选择弃用这些工具。托雷斯群岛人弃用了独木舟，然而加瓦岛人却在弃用独木舟后又再次采用了它们。整个波利尼西亚都弃用了陶器。大多数波利尼西亚人和很多美拉尼西亚人在战争中也不再使用弓箭作为武器。北极的因纽特人选择不再使用弓箭和木架皮舟，然而多赛特的因纽特人除了弃用弓箭以外，还放弃了使用弓形钻和养狗的习惯。”[1]毫无疑问，这些原住民不但没有我们之前设想中那样拥有无法毁灭的太阳能电脑，他们也无须再生出他们选择离开的现代社会中所有的技术。

第二个例子是关于詹姆斯敦、弗吉尼亚和位于马萨诸塞的普利茅斯的殖民地的历史。当初来到美国的那些英国殖民者，其早期的成功并不是基于他们效仿欧洲社会的能力，而是联结起救他们于毁灭的群体的结果。在詹姆斯敦，在约翰·罗尔夫（John Rolfe）带着烟草种子到来之前，殖民者互相残杀，但这之后，他们靠种植烟草与英国建立经济往来，以进口在殖民地无法生产却迫切需要的所有东西。如果没有这种经济往来，詹姆斯敦殖民地很有可能会遭受像毁灭的罗阿诺克早期殖民地一样的命运。在美国，人们庆祝感恩节，是因为印第安人为新英格兰殖民者提供了他们在夏季无法生产的生活物资，从而拯救了他们的性命。跟詹姆斯敦的情况非常相似，普利茅斯殖民地需要外部援助以维持生存，并持续维持与英格兰的纽带关系以积累专业技术，最终将这些技术传播到整个新英格兰地区。

最后，我将给出一个更现代的例子。在20世纪初，福特汽车公司在亚马孙获得了大面积土地的使用权。这片土地位于塔帕若斯河的河岸，其面积相当于康涅狄格州的大小。[2]被巴西人称为福特兰蒂亚（Fordlandia）的“殖民地”，被计划用于建成大型的橡胶种植园。在亨利·福特看来，这也是建造并发展一个如同他在美国中西部建造的社会那样深思熟虑的一步。但是福特兰蒂亚却并未能蓬勃发展起来。福特兰蒂亚的居民并没有像詹姆斯敦人和罗阿诺克人那样遭受饥饿，但是他们同样为了生存，得一直依赖于福特在金钱上的援助。福特兰蒂亚历史悠久也充满了灾难，包括政治和道德问题上的冲突，以及科技上的匮乏和生物上的病虫灾害。这个事业也汇聚了福特汽车公司老练的工程师和经理人的技术与经验。然而，他们试图在亚马孙丛林中重建出20世纪20年代的密歇根的计划却没有成功。尽管他们付出了所有的努力和尝试，将生活在密歇根半岛的人们的技术传播到塔帕若斯河岸，对实力强大的福特汽车公司而言也是不可能的。

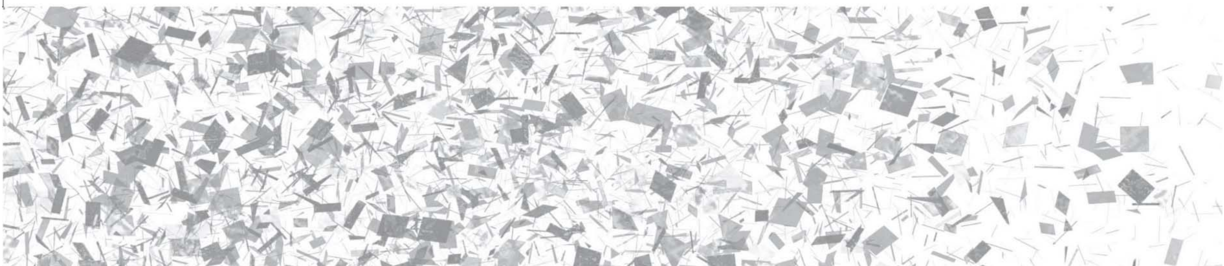
到目前为止，通过关注携带和解析技术与信息的能力，社交关系网有限的携带技术的能力，以及创造能够体现技术的实际用途并提高

人们能力的物品的各种讨论，希望能帮助读者理解经济流程的重要性。

然而，这并不是我们本书之旅的最后一站。在最后一章，我将会总结我们已经研究过的物理系统、社会系统和经济系统，以及我们所研究的这些系统中有助于信息增长的机制。

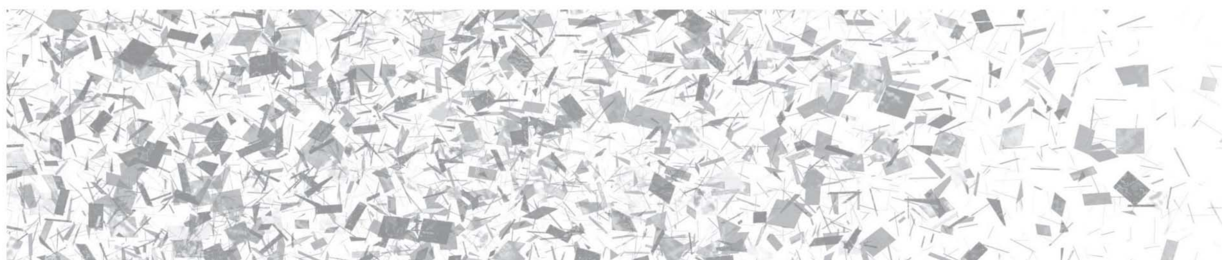
---

1. 《蝇王》是英国现代作家、诺贝尔文学奖获得者威廉·戈尔丁的代表作，借小孩的天真来探讨人性的恶这一严肃主题。——编者注



WHY
INFORMATION
GROWS

第五部分
结束语



第十二章
物理秩序的演变，从原子到经济体

宇宙是由能量、物质和信息组成的，然而能量和物质本身就是存在的，信息的产生却需要特定的方式。这个过程并不总是那么容易。

我们首先来了解一下促使信息增长的几个基本的物理机制。这包括如下三个重要概念：非稳态系统中信息的自然产生（漩涡的例子），固态物质中信息的累积（例如蛋白质和DNA），以及物质的计算能力。

第一个概念将信息与能量联系起来，因为信息会在非稳态系统中自然出现。这些都是由大量具能量流特征的许多粒子构成的系统，能量流允许物质自行组织。就如同普里高津告诉我们的，保持非稳态系统的能量流可以解释秩序或信息的自然出现。在动静态下，非稳态系统中产生信息。这类系统的例子每天都会发生，像是当你放空浴缸时形成的涡流，或当你把牛奶倒进咖啡时出现漩涡的现象。

但是非稳态系统无法帮助我们理解形式更为复杂的信息。这时固态物质的存在和物质的计算能力就派上了用场。

熵值的不断增长意味着信息一直都有被摧毁的风险。如果想要把信息保存下来，它们需要被保藏好，因为在信息转瞬即逝的宇宙中，信息量是无法增长的。固态物质提供给信息用来避开熵值增长的坚固保护。在信息保存时间更久的前提下，固态物质给信息提供了重新组合的条件。而信息的重新组合对于信息量的持续增长而言是至关重要的。

在埃尔温·薛定谔1944年出版的《生命是什么》一书中，他强调了作为信息载体的固态物质在生命中的重要性。他指出生命是一种远离平衡态的系统，并且拥有强大的储存和处理信息的能力。除此之外，他还提到固态物质（比如蛋白质和DNA）对信息的储存和携带起到了关键性的作用，并且这些分子具化信息的能力不仅仅取决于它们的固态特性。

薛定谔注意到晶状固体（例如DNA）的非周期性特点，在分子具化信息的过程中起着重要的作用。短程和长程的交互作用帮助DNA收集大量的信息，正如语言的短程和长程的交互作用能帮助我们表达自己的想法，这些想法不是随意的文字组合可以具体表述的。

所以，信息量增长之谜的第二个线索就是，固态物质是信息得以保存下来的必需条件。然而，并不是任何固态物质都能够携带信息。只有拥有丰富多样的结构的固态物质才能携带信息。散乱或者周期性结构的固态物质，无法像结构更复杂的固态物质（例如DNA）那样具化信息。

信息量增长过程中固态物质存在的必要性也说明了最有助于信息增长的环境条件。小范围内的温度变化界定了这些环境条件。信息不能在完全冷冻的环境里增长，因为在这种环境下，信息是静态的，所以不能重新组合。[1]信息在太热的环境里也无法增长。在非常炙热的环境里（例如，太阳），远离平衡态的系统的涡流会变得非常多，但是缺少固态物质意味着信息没有办法延续、重组并增长。太阳里没有长链蛋白质。实际上，由于温度过高，在太阳不停运动所产生的原子涡流里活动时，原子会被分裂成电子。因此，炎热的环境里可以生成形式简单的信息，但是没有固态物质的辅助，信息量无法增长以超越它最原始的状态。

信息的出现需要能量，而信息的延续需要固态物质。但是为了使信息激增，我们还需要一个要素：物质的计算能力。

物质可以进行计算这件事可以算是宇宙中最令人感到惊奇的事情之一了。想想看：如果物质不会计算，生命也将不会存在。从学术上讲，细菌、植物还有你我都可视为计算机。我们的细胞一直在用我们不太能理解的方式不停地处理信息。就如我们之前所看到的，生命的出现前提是物质具有计算能力。它也标志着我们宇宙产生信息的能力的起航点。当物质学会如何计算时，它也学会了筛选其积累的信息和复制的结构。最终，物质计算能力会使信息量爆炸式地增长。

非稳态系统、固态物质和物质的可分析计算能力，这三者帮助我们理解宇宙中信息的存在与增长。这三者也使物质不仅在宇宙的大范围中，而且在界限明确的小范围内——比如在一个细胞，一个人，一座城市或是一个星球中——避开宇宙熵增的趋势，将信息存留下来。不过，要想把这些机制应用于现代社会，我们得站在人类、社会和经济的角度上重新诠释它们才行。经济方面的信息增长与发展，就可以由这个基本机制运算解析出来。然而，在更宏观的社会和经济系统中，这个机制也因具体情况的不同而被赋予了不同的解释方式。

我们所在的世界充满了比漩涡和蛋白质更为复杂的结构。这其中包括人类，还有无机物体。人类算是代表了物质的分析计算能力的最高水平。当我们用大脑逻辑清晰地思考、当我们建设有秩序的社会时，我们其实就是在创造新的信息，于是，此时此刻的我们便是分析计算能力的具象表现。而物体是我们存储信息的媒介，它们使我们能够交流信息、从事各类社会活动和职场项目。不过更重要的是，它们让我们可以传播知识技术。

早期原始人的经济体系和如今21世纪社会的经济体系之间的差异极大，但这两者间有一个重要的共同点：在两种不同的经济体系中，人们都不约而同地将身外之物作为积累信息的媒介，通过将物质摆放

在不同的地方来理清已知信息。这个世界的物质总量是守恒的，而我们的世界和原始人的世界唯一的区别，仅在于原子量级的物质排列方式不同。正是如今的这些物体——这些不同以往的原子的排列方式——使我们的世界与我们的祖先生长的那个世界截然不同。

信息实体化是给我们社会带来活力的血液。物体与信息将我们相连，从而进一步推动信息的增长。从原始的箭、矛一直到现在的咖啡机、客运飞机，我们千百万年来都用物体承载信息。近年来，我们又学会把信息存储在光子中，并用电话、无线电来传递这些信息。不过，关于信息最不可思议的并非在于它们能够被实体化这一点，而是这些信息究竟是如何在我们大脑中萌生的。人类不只将信息存储在外界，我们还会将创想凝成实体。

所谓创新力便是我们化想象的产物为实体的能力。飞机、直升机和休·赫尔的机械腿在变为现实之前都只是一个个想法。创新力得以让我们灵活的大脑来创想，然后再把创意具象化，正是创新力使我们人类有别于其他物种。

可是，将创意具象化并非易事。将信息物质化需要我们最大限度地调动我们的分析计算能力，这样的要求往往是超出一个人的个体极限的。若欲整理出像如今社会上充斥的结构复杂的信息，我们需要发展优化出一个同样复杂、需要很多人协作才能建好的分析计算模型。我们的社会以及其中的经济体系，正如一台庞大无形的电脑，时刻从各处收集着知识技术，这些知识技术若善加利用，足以被用来创造出我们渴望得到的但尚未呈现的信息。

对经济学最传统的解释是，价格系统（price system）让这个庞大的电脑自动调整到最优状态。可事实上，这台“经济电脑”的精密程度不止于此。

经济体系存在于先它出现并制衡着它的社交及职业关系网。这些关系网很重要，因为只有依靠这些网络我们才能积累出数量庞大的信息和技术。不过，正如格兰诺威特、普特南和福山指出的那样，这些网络的规模、形态和发展受制于历史与体制的因素，这其中包括社会信任度、对家庭的重视程度，等等。

因此，我们真正在试图解决的经济问题，其实是关于在人类关系网中知识、技术实体化的问题。通过解决这个实体化问题，我们也提升了自身的分析计算能力，并最终促进信息的发展。

所以在经济体系中，信息的发展——也是经济发展最核心的一点——是整个人类分析计算能力的进步，加以人类创新产物的长期积累共同作用所产生的结果。从飞机到牙膏，这些创意具象而成的结晶，既增强了我们把知识、技术以及社会创意实践应用的能力，又提高了我们生产更多信息的能力。而且，正是这些结晶，让我们将知识技术的增长构成一张具象化的关系网，这张网有助于我们进一步提升集体处理信息的能力。

然而，我们之所以要构建这张网是因为我们有一个顾虑：人类个体所能掌握的信息与技术是有限的。为了突破这种个体限制，我们需要协作。我们构建各类能让我们掌握更多信息与技术的关系网，如果不是这些关系网，我们处理信息与发明创造的能力都会被极大地限制。这些关系网起着决定性作用，尤其是对那些需要超出个体所拥有的知识技术才可生产出来的产品。为方便讨论，我们把一个个体的能力极限值定义为一个人比。

人比理论指出了经济活动的复杂程度和用以完成这些活动的社交及职业关系网的规模之间的关系。就是说，那些需要多于一个人比所包含的知识技术才能完成的活动，需要更大的关系网。这一关系解释了我们这个星球上的工业结构及其发展。人比理论也带来了以下推论：（1）简单的经济活动比之复杂的更为普遍；（2）只有多元的经

济系统才有能力开展复杂的经济活动；（3）各国将逐渐研发与现有产品相关联的新产品；（4）从长远角度来看，一个地区的收入水平和它的经济体系的复杂程度持平，而经济体系的复杂程度大致可以从这一地区生产及出口的商品种类判断出来，这是因为商品能反映出一个地区的知识技术水平。这几项推论都是以经验验证，并有可靠数据支撑的。

在这个由原子与经济构成的世界中，信息和分析计算能力之间的一曲永恒之舞与信息的增长密不可分。能量的传递、固体物质的存在与物质的分析计算能力，这三者作为动力，使这支舞永不停息。能量的传递不仅带来了自我整合（selforgnization），也同时促使了物质分析处理的能力的提升。而另一方面，这些固体物质——从蛋白质到房屋——使万物的秩序保持下来。固体使万物有序所需的能量最小化，并且保护了信息免受宇宙熵增这浩浩荡荡大军的侵略。不过这场舞会的女王，则是这世上随处可见的各式各样的分析计算模式。比如，我们的细胞是蛋白质连成的关系网，这些蛋白质构成各种细胞器和传递细胞信号的通路，来帮助细胞决定何时分裂、分化或是死亡。我们的社会作为一个整体，可以被看作一台计算机，它不断被我们生产出来的产品优化着，来分析计算新的信息。

***

当这个宇宙不断发展、熵值不断增长时，我们的星球则继续走在一条抗争着这个大趋势的路上，它在口袋里储藏了丰富的信息。迫于万物秩序的增长，我们开始建立社交关系、发展商业合作伙伴、养育后代，当然啦，我们还大笑大哭。然而，我们常常忘了信息的美。我们迷失在匆忙的当下，我们的大脑像漩涡一样不停歇地转着，我们分析着、计算着，朝着没有过去的未来前进。我们一心关注着财富和税收，而不自觉地肩负了一个不朽的无神而造物的责任：这个源于最基本的物理原理的创造物，现在已托付给我们了。

致谢

在此我要感谢的人和事，前前后后对我完成这本书有很大的帮助。凡是在键盘上泣血著书的人都知道，写作这门艺术不仅是一门意在交流的艺术，更是一门让自己透彻体会到自己想要表达的意象的艺术。这种透彻的体会并非易事。

在自己内心中追寻到那本尚未出世的书的踪影，是极为辗转痛苦的。这意味着要反复咀嚼每日思考、消化所得的残余。咀嚼、反刍，然后再次消化之前没理通顺的思路，希冀着能以此番反复消化，提炼出有价值的文字来。这个方法有时还是很管用的。

起初，我并未打算把《增长的本质》这本书卖给我的代理商或出版商，当时根本没打算写这本书。《增长的本质》这本书是我在写另外一本关于经济增长、经济复杂性及其发展的书时，心中有感而写的。在写那本书的过程中，我逐渐意识到经济增长是一个表层的研究课题。它是浮在宇宙中我们这个社会经济层面上的一个表象。这个现象与和我们人类其实并不相干的生命，以及迫切想感受到我们的生活在不断进步的心理需求有关（当然，还跟想要感到我们改善了他人生活的施恩式的心理需求有关）。然而，要想从我们享乐式的和施恩式的欲望中，提取出抽象、有深度的道理来是很难的。如果人文科学给过我们一点启发的话，那一定是宇宙中真正与我们相干的都隐匿于表象之下。这些往往被忽视了的，正是那高于人性短浅的焦虑和无尽的欲望的真理啊。

当我脱离我沉溺数年的问题，并试图挣脱匮乏（depriva- tion）、内疚（guilt）、繁荣（prosperity）、优选（optimization）、平衡（equilibrium）和财富（wealth）这类修辞说法时，我悟到了经济增长

不过是更大、更普适、更加息息相关的现象的一个附加现象。这不是什么新闻头条争先报道，也不是什么会被提上政治议程的增长现象，而是使生命和世间万物的存在成为可能的增长现象——即便我们无视它的存在。这是一个物理秩序增长，或者说信息的增长。不久的将来，我就得接受主宰这一切的是信息了。如今，我无法只把经济看作简单的收入、管理和代理商。经济是一个更深邃的东西的世俗表现。它是信息生长的社会表现，是我需要探索的那个增长。

本书始写于2012年10月2日。我在波士顿的洛根机场，正要出发去布鲁塞尔。计划在那里待一晚，由于我要出席一个麻省理工学院工业联系项目举办的活动。在那奔走过度、行程过满、压力过大的学术生涯中，我开始向我的笔记本电脑里倾吐。

那时并非是最佳的写作时机。在9月和11月间，我走访了天津、北京、京都、东京、华盛顿、布鲁塞尔、纽约、圣地亚哥和里斯本。旅途使我筋疲力尽，简直要耗尽了我抒发肺腑之言的所有精力。年终之际，我发誓2013年整年再不出远门了。我想把更多的精力放在家庭和写作上。回过头看，我大体兑现了我的诺言。

于2012年12月和2013年1月间，我发现自己终于有了撰书所需的时间、心气和精力。那时草草写下的是现在第四、五、六章的前身。全书从那几章衍生而来。初稿中想表达的是“创意具象化”（crystalized imagination）这个概念，这个概念的名称成为本书暂定的标题，同时也是我在Dropbox（国外的线上存储服务）原封不动存储这些文字的文件夹的名称。

2013年的冬天也是我妻子安娜怀上我们的女儿的时候，我和安娜携手走过了抚育孩子这段美好的旅程。安娜一直是我生活和工作的坚强后盾，我永世感恩于她。

在这段时间里，我挚爱的朋友姆瑞杜（Mridu）也给我了很大的帮助，她常坐在我身旁，倾听我朗读当天写作的内容。姆瑞杜是支持我著述这本书功劳最大的人，我也会永远感谢她。若不是姆瑞杜，我将无法完成这本书，即使完成也无法使它呈现出现在这般。

那个冬天我得完成的另一件事就是让出版商对这本书有兴趣，愿意出版。出售一本书的版权是一个很奇特的过程，但我足够幸运地得到卡金卡·马特森（Katinka Matson）的帮助，她帮助我修改书的提案，并指导我参加各种面谈。卡金卡还帮我取得许多编辑的联系，其中有蒂姆·巴特利特（Tim Bartlett）。蒂姆当时还在纽约的基本书局，他深信我所写的不止于经济增长。尽管我的想法常常飘忽不定，如大多数作者一样也常常陷入沮丧，但他似乎理解我的疯狂与执着，很支持我的工作。蒂姆还帮助我改进了我的写作技巧，教我在文中适当地添加结构性段落。这些段落承上启下，让读者阅读更顺畅。蒂姆同时也是给我最多反馈的编辑，他总共修改了两遍全稿。只可惜，他于2013年年底离开了基本书局。

2013年我还形成了一个写作的仪式。每天早晨我花30分钟走到一个很有嬉皮风格的咖啡店，名叫“电压”（Voltage），它在麻省理工学院附近。电压成为我修改文章的主要根据地。每天早8点到11点间，我会抵达“电压”，并在下午1点离开。跟语言文字一番呕心沥血、针锋相对后，我就像旋风一样冲出“电压”，想想我接下来要写什么。每晚，我从麻省理工学院走回家时，我就给我朋友伊格纳西亚·埃切维里亚［Ignacia Echeverria，他的别称“那卡”（Nacha）］打电话。那卡是一个统计物理学家，我们俩喜欢一起讨论熵、焓和信息。

在电压我总是点一杯“媚俗”（Kitsch，一种饮料的名称）、一杯“仙人掌”（一种以龙舌兰糖浆做甜料的拿铁）和一个百吉饼加上菜单上没有的牛油果。我也简单和咖啡师们寒暄一下，莎拉、莉莉安、安娜、艾米丽和李。两年之间我们的关系发展得算是很慢热的了，每

天只交流一两句。尽管我们的交流非常简短，我还是从他们身上得到了某种支持，他们给我创造了一个很好的写书环境，有恩于我。若不感谢他们我便是疯了。

2013年的夏天，我在“电压”写完了第六章和第七章。我在那儿还研究了罗纳德·科斯和奥利弗·威廉姆森的构想。这些都对本书的第三部分奠定了基础。

2013的秋天这本书仍未完成，不过我的女儿已经准备好迎接新世界了。伊丽丝的出生改变了这本书。在之前的草稿中，我阐述过生产婴孩这个奇妙的过程——这是受到了安娜怀孕这件事的启发，但当时我还是缺乏切身体会孩子所能带来的动力。她的出生给了我诠释这个想法的力量，也推动着我朝新的方向思考。

伊丽丝生于2013年10月6日，周日的凌晨。紧接着的周一，我逃到了“踢踏屋”（Tip Tap Room），一个位于麻省总医院旁剑桥大街上的餐馆。在一群西装革履的人吃午饭之际，我又倾吐出了全新的第一章。这次写的第一章在之后的数十次修改过程中都几乎没被改动过。

在我女儿出生之际，我也不停地在听詹姆斯·格雷克写的一本很棒的书——《信息简史》。这本书在我车里的iPod上循环播放，并给了我去读香农、韦弗和维纳的原著的动力。之后，《信息简史》又促成我写出本书的第二章，尽管直到出版前的最后一刻，这个章节都在大幅修改。我是在位于因曼广场的“1369咖啡店”（Café 1369）写下第二章初稿的。

2013年秋天，我开始把信息这个概念融合到本书的中心思想中。与此同时，我对物理秩序的源头产生了浓厚的兴趣，但是我随即意识到，由于信息理论集中于沟通交流层面的数学信息理论,它无法解释信息及其源头在物理方面的原理。在一次小组讨论中，我跟我的学生分享了我的疑惑所在，其中隶属我小组的城市规划师弗朗西斯科·休姆瑞

斯（Francisco Humeres）向我提到伊利亚·普里高津。我当时感到很惭愧，我竟然不知道普里高津的作品，于是迅速上网买了许多他所著的书。这些书帮助我理解时间的流向和秩序的来源。我把11月专门用来研学普里高津的作品，并写下了现在的第三章。

这本书原打算2014年2月截稿，但在2013年12月我开始担心是否能按时完成。我还想着重补充一下社交和职业关系网的起源和结构。我知道这些关系网是我们社会积累知识技术的基本组成部分，并且关系网积累知识技术的最大能力跟社会机构和社会发展进程有关。所以，我开始发掘阅读社交网络和社会资本方面的书籍。这是一本不同于我读博士后期间学习的有关关系网的文学作品，我读博时学的都以物理学家发展研究出的网络为主。

安娜的朋友奥尔加·阿弗德耶娃（Olga Avedeyeva），是洛约拉的政治学家，她向我推荐弗朗西斯·福山所著的《信任》一书。她推荐的这本书极好。我用11月和大部分不放假的圣诞节假来照顾我女儿，读福山、格兰诺维特、普特南和其他社会资本理论巨匠之书。2014年1月，我把林林总总的心得总结到一起，写成了现在的第八章。

2月截止日前夕，书已经基本成型了，但是我对标题、结构和前言还不算百分百满意。而且我还没有编辑帮我审阅，往往作者都是有编辑帮忙的！接下来的2月、3月和4月我专注于教学、研究报告、项目和其他要履行的职责。

2014年5月，我在姆瑞杜回城时得以偷得一会儿清闲——她在2013年年底搬去了西雅图。我们海阔天空地讨论了这本书，并一同在我公寓大厦的停车场里对波士顿的架空索沉思良久。而且，基本书局终于分给我一个新编辑T·J·凯莱赫（T.J. Kelleher），帮助我回复电子邮件和来电。跟姆瑞杜和凯莱赫讨论之后，我又重新打稿，重写了开头部分。正是那时，我把路德维希·玻尔兹曼作为一个关键人物引入到书里来。但是在这重写过程中，我没能以围绕信息的增长为主题讨论，而

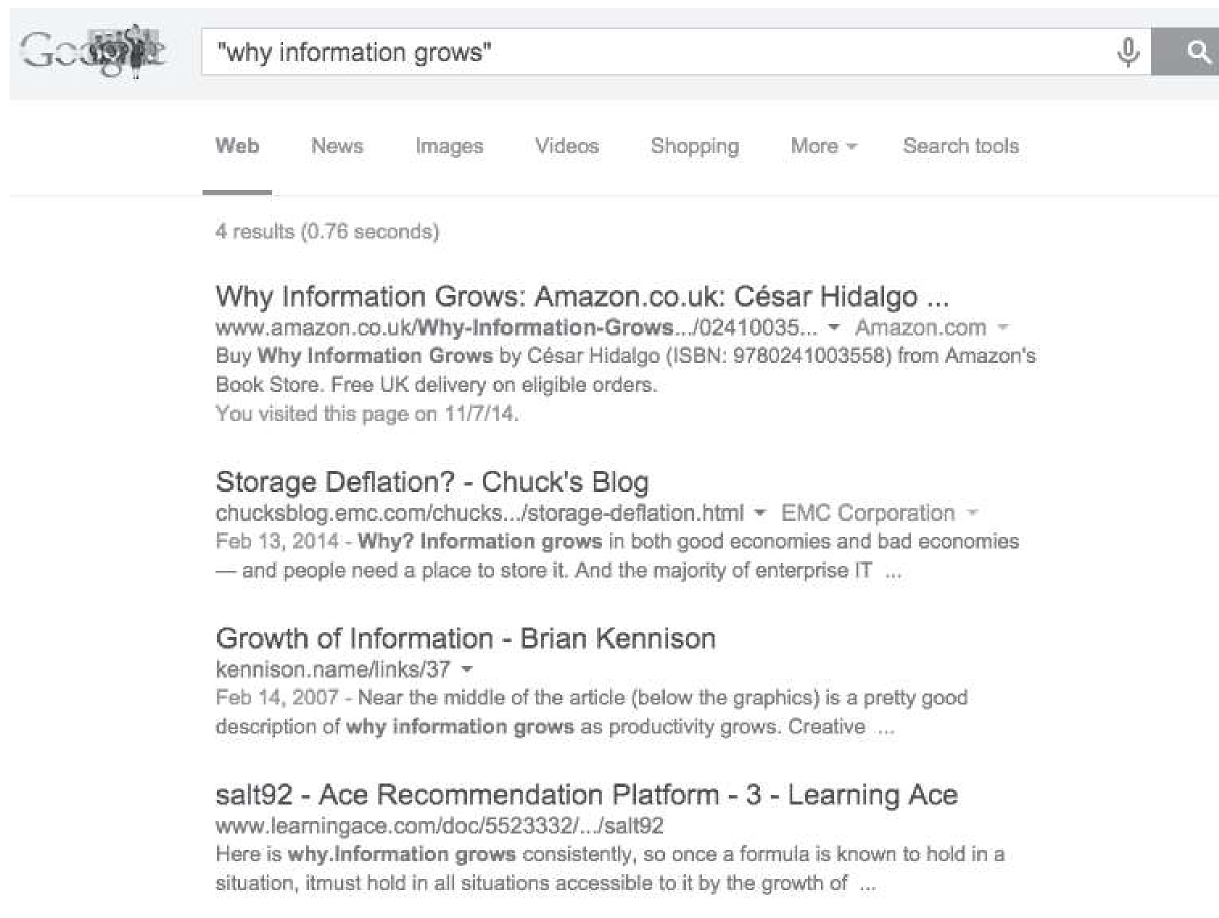
着重写了令信息难以增长的机制。新的前言围绕着信息和分析计算的量化展开，而信息和分析计算须被时刻赋予实体这一属性，告诉我们它们可以被量化、被数字化。于是本书的暂定名就由《创意具象化》变成了《比特与原子》。

2014年的夏天很难熬。我不仅得写完这本书，还得完成在麻省理工学院晋升所需完成事务，以及其他要求我大量旅行、写作的职责。8月，我和安娜还有伊丽丝访问了圣彼得堡，我试图在那座城市的咖啡店里完成我的书。在“糖果”（Candies，一个地处市中心，邻近艾尔米塔什艺术博物馆的咖啡店）和“科姆诺卡”（Komunalka，一家在彼得格勒区，离我们公寓很近的很低调的咖啡店）这两个咖啡店里，我写完了第九章。这段时间于我最痛苦不过了，我恶之如粪壤。

从圣彼得堡出发，我又辗转去了哥伦比亚、巴西和智利。在那次忙碌至极的旅行中，每日繁多的事务和一路好侣伴们将我的注意力转移开来，我便不再成日对未完成的写作任务忧心忡忡，由此也彻底摆脱了内心的不安。我还和英国企鹅出版社的海伦·孔福德（Helen Conford）通信，来回讨论如何拟定书名。出版商一锤定音地否定了我一直犹豫想要的书名——《创意具象化》，他们的理由是那个题目过于虚浮，难以归类。

在圣地亚哥，我拜访了我朋友卡洛斯·罗德里格斯的实验室，他是智利德萨罗拉大学的学者。在和他见面之前，我还跟我高中的好友玛利亚·何塞·巴蒂尼拉（Maria Jose Badinella）取得了联系。自高中毕业后，我们再没见过彼此了。跟他们俩介绍完我的书，又跟卡洛斯喝酒抽烟玩乐一晚后，我找回了我父母的家里，一路上在我脑中回荡着《秩序增长的原因》。这一刻如醍醐灌顶。这不就是我在过去的两年中一直在寻找的一句话吗？它短小精悍地诠释了我想表达的所有。第二天，我把这句话改成了《信息量增长的原因》，我惊讶地发现这三个关键词（why information grows）并非常见的关键词组合（至少谷歌

搜索结果如此）。在今天，2014年11月11日，搜索“why information grows”（为何信息生长）在谷歌上只得到了4个搜索结果。第一个结果，出现在我英国出版商在亚马逊上替我制作的封面简介。另外两个结果都没出现在一句完整的话中，因为关键词被标点分开了。［相对地，“why economies grow”（为何经济生长）这句话得到了多于26 000条的搜索结果。］



如果这三个关键词是我智利之行所获的所有战利品，这趟旅行完全可以被称作一次胜利了。然而，这三组词却需要我重新架构余下的全书。虽然我时间不够，但是我不准备放弃这本书。所以，我决定实施一个按摩疗法的对策，那就是改变章节顺序及承上启下的部分。

我那个周六照例乘机离开了圣地亚哥前往弗吉尼亚州的利斯堡，那个月的每周六都是这样。我赴邀参加泛美开发银行的活动。在那个

活动前的周日，我在一个弥漫着老学究气氛的高尔夫俱乐部中把书整合成现在的顺序。

最后的整合过程很辛苦——简直是太艰辛了。在这般奔走之后，我得再去纽黑文、纽约、伦敦和沙特阿拉伯走一遭，而与此同时，我还得把我的实验室搬到一栋新楼，再吸纳四个新生到我的研究小组里来。我只剩三周时间就必须得把书塞到编辑们手中了，时间太紧。那几周，我常常半夜就醒过来，总有种压力过大而干呕的感觉，而我又为一种不安感所困，无法再次入眠。这本书在如大屠杀一般的最终审阅中，几乎减掉了一万字。安娜帮着我挺过当时的一切，每每我需要之时，她永远都在那儿，做我的心灵支柱。

那三周，我还背叛了"电压"，在麻省理工学院的附近的一家叫"联合体"（Commonwealth）的餐厅写完了最后一章。"电压"近来太受欢迎了，而"联合体"才是能让我每天早晨专心致志写完最后几句话的清净地。

现在我要放下这本书不再管它了。任何泣血著书的人都知道书是永远无法完成的，总能修改，唯有放下才行。然而，我仍希望我的书已经修改到了这样一个程度，就是说，被我放下的这本如同弃儿的书，已经足够成熟，有能力在其他人的脑袋中安家、成长，启发他们。

抚养这个性格叛逆的"弃儿"不是件易事，我能走到今天这一步都是因为我有幸得到了参与出书的人的帮助，因为我有幸有这么多善良的人愿意做我的朋友。所以，我还想借此机会写下对我至亲的人们的感激之情：亚历克斯·西莫兹（Alex Simoes）和戴维·兰德瑞（Dave Landry），他们不仅是很棒的开发商、可视化美术师，还是给予我关爱的伙伴；詹妮弗·嘉拉（Jennifer Gala），她是我认识的最懂我的朋友了；多米尼克·哈特曼（Dominik Hartmann）、杰梅恩·卡明斯基（Jermain Kaminski）、阿里·阿莫萨维（Ali Almossawi）和伊凡·佐克

曼（Ethan Zuckerman），他们读了最初的手稿,并愿意敞开心扉地和我分享他们的想法；我的父母、祖父母和姐姐们，塞萨尔·E·伊达尔格（César E. Hidalgo）、努丽娅·拉玛乔蒂（Nuria Ramaciotti）、卡特里娜·伊达尔格（Caterina Hidalgo）、努丽娅·伊达尔格（Nuria Hidalgo）、安东尼欧·拉玛乔蒂（Antonio Ramaciotti）和努丽娅·费雷（Nuria Ferre）；我的学生和我以前的学生们，沙哈尔·罗恩（Shahar Ronen）、丹尼尔·斯米克夫（Daniel Smilkov）和迪帕克·贾格迪什（Deepak Jagdish）；我的米内鲁斯的朋友们，安德烈·巴伦斯（Andre Barrence）和艾米利亚·派瓦（Emilia Paiva）。当然，也感谢一下曾经背叛我并拒绝帮助我的人们吧。

我现在正处于极度疲惫的旅行后十分空虚的状态中，我在想我的文字能否被人读到。我不确定我是否感到开心，但是即使我不开心，我也很感激，因为我并不是独自难过。我的女儿，伊丽丝，正蹒跚学步；此时我正注视着她，目睹着她处理信息的能力逐渐增长，而我也逐渐发现，她萌发了爱父母这令人惊叹的能力，虽然我知道，总有一天她终会忘记这项能力吧。伊丽丝和安娜是我人生动力的源泉，虽然她们并没真的在帮我泣血著书，这一切仍然归功于她们。

注释

前言 从原子到人类再到经济体

1.在这个语境中，“原子”主要指的是离散的粒子，即原子或分子。

2.两本极好地讨论进化与行为之间的关联的书是：Richard Dawkins,The Selfish Gene (Oxford: Oxford University Press, 2006), and Steven Pinker,The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature(New York: Penguin, 2003)。

3.信息理论（information theory）也有一个量子化的版本，被称为量子信息论（quantum information theory）。不过，量子信息论的存在并没有否定经典信息论。不同于很多其他理论，经典信息论在各范围内均得以运用。

4. Friedrich Hayek,“The Use of Knowledge in Society,”American Economic Review 35, no. 4 (1945): 519–530.

5. George A. Akerlof,“The Market for‘Lemons’: Quality Uncertainty and the Market Mechanism,”Quarterly Journal of Economics84, no. 3 (1970): 488–500.

6. Claude E. Shannon and Warren Weaver,The Mathematical Theory of Communication(Urbana: University of Illinois Press, 1963), 8.

7. Ibid., 31.

8.玻尔兹曼熵（S_B）的方程是$S_B = k_B \ln$（W）。k_B是玻尔兹曼常数，单位为能量单位除以温度单位，W是微观态相对于给定的宏观态的数量。吉布斯通过把熵定义为一个系统在一个特定微观态（p_i）下的可能性而不是相等的微观态的总数而将这个熵的公式推广。吉布斯熵（S_G）被定义为：$S_G = -\Sigma i p_i \ln(p_i)$。注意，当对于任意一个i，$p_i$ = 1/N时，玻尔兹曼熵和吉布斯熵是相等的。这意味着在热平衡的系统中，吉布斯熵可简化为玻尔兹曼熵，因为在此类环境中所有微观态存在的可能性均等。

香农的信息熵公式$H = -\Sigma_i p_i \log2(p_i)$。$p_i$是一个符号出现的可能性。除了一个乘数系数以外，香农的公式实际上与吉布斯熵的公式相等。我们可以用一个常数来替换把对数换底（由2换为自然对数的底e）而多出的常数和玻尔兹曼常数。

第一章 时空旅行的奥秘

1.与其他物种不同，人类还拥有使用形象化的语言的能力（即使用语言来创造故事的能力）。有趣的是，形象化语言的演化与工艺复杂的用具的出现息息相关。

由于口语表达的出现往往远早于文字，考证人类语言出现的准确时间困难重重。人类最早的文字记录大约可追溯到8万年前。而想要估算口语表达出现时间的考古学家们，则要追寻其他线索，比如考古发现的复杂器具。复杂器具可用来确定人类语言的起源时间，基于以下两个原因。第一，一个懂得如何制作诸如有石质尖头的矛之类复杂工具的人，得明白如何将器具的不同部分组合起来。这一过程，与使用语言过程中将不同的词汇组合成句子、把不同句子组合成一段完整的话十分相似。换句话说，一个能够制作复杂器具的人会辨识构成器具

的各个部件，并能设想好拼接器具需要依次执行的各个步骤。这一想象力及组合复杂器具所需的思维过程可被认为是初级的语法，因为使用语法时也需要类似的大脑活动。制作复杂器具所需的组合能力与人类语言使用的组合能力十分相似。因此，尽管拥有制作复杂器具的能力，并不意味着拥有语言，但我们可以合理地推测这两种认知组合能力是在同一时期出现的。

第二个支持用复杂器具可以推断语言出现时间这一观点的论证，与复杂器具制作知识的传播有关。箭和矛的大量生产，可被看作早期人类语言出现的证据。学习如何制作箭与学习如何用石头敲开核桃完全不同。简单的工具使用可以通过观察与模仿来掌握，然而复杂器具的生产则微妙精密，需要使用同种语言的人与人之间的交流才能完成。例如，讲同种语言的人之间可以更有效地讨论如何安全处理浸箭头用的毒药，或是如何把石质的斧头固定在木质斧柄上。

当前的考古资料显示，早在8万至7万年前的智人所能制作的工具，其复杂程度与如今的狩猎采摘者所使用的工具不相上下。这表明我们的发明创造能力，要比我们用文字记载这些发明的能力出现得更早。这也表示早在早期人类离开非洲之前，便已拥有语言与复杂工具了。因此，让我们的祖先不同于其他物种的并非使用简单工具的能力，而是创造出自然界中并不存在的复杂工具的能力。可参考E. O. Wilson, The Social Conquest of Earth(New York: W. W. Norton, 2012), and Yuval Harari, Sapiens: A Brief History of Humankind(New York: Random House, 2014)。

2.正如Randall Davis, Howard Shrobe, and Peter Szolovits in“What Is a Knowledge Representation?,”AI Magazine14, no. 1 (1993): 17–33所说的那样：“首先，一个知识表征说到底其实是一个符号，是一个事物的替代品。它使得一个主体可以用思考而非实际的操作，来判断一个行为

的结果。换句话说，就是用逻辑演绎这个世界，而不用借助实际行为。”

3.下面的文字是写给那些对这方面文献很熟悉的人。基于迈克尔·波兰尼在半个世纪前关于显性知识和隐性知识的概念，我会注意这两者之间的区别。我会用“技术”（knowhow）这个词来表达隐性知识，因为我倾向于使用一个不同的名词而不是添加形容词（“显性”和“隐性”）来区分二者。Harry Collins,Tacit and Explicit Knowledge (Chicago: University of Chicago Press, 2010)是对显性知识和隐性知识的概念的总结。在此书中，柯林斯把隐性知识分为理论隐性知识（relational tacit knowledge），就是我们理论上可以表述但实际上没能成功表述的知识，还有实践隐性知识（somatic tacit knowledge），这其中包括从社会性活动中得到的知识，比如语言的使用规则。

4.这段引述来自马文·闵斯基在计算机历史博物馆网（the Computer History Museum）上的传记。链接如下：www.computerhistory.org/fellowawards/hall/bios/Marvin,Minsky。

第二章 无意义的实体

1.这段计算在几年前由我的朋友兼本科时期的顾问弗朗西斯科·克拉若（Francisco Claro）提出。他当时用的例子是战斗机。

2.根据来自goldprice.org的数据，在2013年1月14日美国东部标准时间16:45，确切的价格是每千克53 586美元。

3. Eric Beinhocker’sThe Origin of Wealth(Boston: Harvard Business School Press, 2005)对此进行了很好的讨论。

4.你也许会说一辆布加迪威龙车的价值大于它的物理结构或所含信息的价值。我对此表示认同，并建议你继续读下去。我会逐渐增加更多因素以完善这一讨论。

5.因为“秩序”（order）一词有很多不同的词义（比如你衣柜中衣服的摆放方式，或者你在餐馆点的菜），我在此澄清一下我所使用的词义。我用“秩序”来表示物理结构——一个系统中各部分的排列方式（比如你衣柜里的衣物的摆放方式）。物理结构被定义为信息。基于物理结构的不同，人们把一辆完好的布加迪威龙车和一堆冲撞后遗留残骸区别开来。

6.这是香农的理论最简化的例子了，因为我们假设所有的推特和符号出现的可能性相等。而实际上，这些可能性并不相等。一个推特中出现“http://”的可能性远大于出现“qwzykq”的可能性。如果布莱恩知道这一差异，他可以利用这一差异来减少他的猜测次数。如果你觉得此处不应该化简，那么我们就假设艾比和布莱恩来自不同的星球，布莱恩只知道艾比使用的字母表包含32个字母。

7.注意700这个数字也出现在2^{700}这个数字，而这个数字是所有可能排列出的推特的总数。这里的一般性的公式是$N\log_2(S)$，N在这里是符号的数量，S是字母表的大小。这个数值和$\log 2(SN)$相等，SN在这里是可能排列出的推特的总数。需要注意的是，一段信息的容量是以2为底的推特总数的级数。这是因为查找或锁定信息的最高效的方式是重复地使用二分法分割信息以缩小搜索范围。

8.有许多决策原则可以最终使人们做出这类决定并最终达成这样一种结果。如果想了解可以让人们坐满体育馆或礼堂上半部分的各类行为可以参看Thomas Schelling’sMicromotives and Macrobehavior (New York: W. W. Norton, 2006)中的第一章。

9. Manfred Eigen,From Strange Simplicity to Complex Familiarity: A Treatise on Matter, Information, Life and Thought (Oxford: Oxford University Press, 2013), 310.

10. Tomas Rokicki et al.,“The Diameter of the Rubik’s Cube Group Is Twenty,”SIAM Journal on Discrete Mathematics27, no. 2 (2013): 1082–1105.

11.在1981年7月，最初预计还原一个魔方需要52步。此后这个数字不断减小，从1990年的42到2000年的29、2008年的22，最后变为20步。详情可参考“Mathematics of the Rubik’s Cube,”Ruwix, http://ruwix.com/the-rubiks-cube/mathematics-of-the-rubiks-cube-permutation-group。

12. Douglas Hofstadter’sGödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid (New York: Basic Books, 1979)对“信息具有无周期性并包含大量的局部或非局部性关联”这一想法进行了探究。参见此书第六章：位置的意义（The Location of Meaning）。

13.近些年来，信息学中的一些想法被用来开发发现基因间的新基因的方法。参见Anne-Ruxandra Carvunis et al.,“Proto-genes and De Novo Gene Birth,”Nature 487, no. 7407 (2012): 370–374。

14.参见Dave Munger,“A Simple Toy, and What It Says About How We Learn to Mentally Rotate Objects,”Cognitive Daily blog, September 17, 2008, http: //scienceblogs .com/cognitivedaily /2008 /09 /17 /a-simple-toy-and-what-it-says; Helena Örnkloo and Claes von Hofsten,“Fitting Objects into Holes: On the Development of Spatial Cognition Skills,”Developmental Psychology 43, no. 2 (2007): 404。

第三章 永存的异常

1.思考过去、现在与未来是件令人困扰的事——尽管这是有关时空旅行主题电影中常有的桥段。我们目前的物理研究水平未来并不存在现实之中。每一瞬间都在创造新的未来。事实上，每一个现在都是基于上一瞬间的过去，并以不可预见的方式创造出来。不过尽管我们说现在是由上一瞬间的过去创造的，我们并没有否定存在于遥远的过去的信息对于现在的影响。只是这一信息若要影响现在，其载体必须存在于上一瞬间的过去。

2.在物理中，这类相等关系被叫作“对称”。对称意为改变一个物理模型中的变量值而最终的结果并不会改变。这种反向时间对称十分明显。将运动方程的时间t改为–t而结果并不会改变。这意味着在一个时间倒流的世界中，用以推导出运动方程的物理原理仍然成立。

3.“自由能”被定义为一个系统可以转化为功的能量，其中不包括热能。设想一个高架子上放着一个保龄球。这个系统的总能量是保龄球的热能（因为温度不是绝对零度）加保龄球的势能。自由能仅由保龄球的势能构成。

4. Nobel Media AB,“The Nobel Prize in Chemistry 1977,”www .nobelprize .org /nobel _prizes /chemistry /laureates /1977.

5.漩涡是一个含有丰富信息的稳态，因为一个漩涡中水分子的速度分布绝非随机。不过正如普里高津注意到的那样，“长久以来，涡旋被认为是无序与杂乱的。如今我们才发现事实并非如此。实际上，尽管涡旋运动宏观上看似杂乱无章，微观上却十分有序”。Ilya Prigogine and Isabelle Stengers,Order Out of Chaos: Man’s New Dialogue with Nature(New York: Bantam, 1984), 141.

6. Ilya Prigogine,“Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles,”PhD thesis, Université Libre de Bruxelles, 1947.

7. L. M. Martyushev and V. D. Seleznev,“Maximum Entropy Production Principle in Physics, Chemistry and Biology,”Physics Reports426, no. 1 (2006): 1–45.

8. Ilya Prigogine and Grégoire Nicolis,“Biological Order, Structure and Instabilities,”Quarterly Reviews of Biophysics4, nos. 2–3 (1971): 107–148.若想了解更新的关于统计物理学、秩序与生命的关联探讨，可参考Jeremy L. England,“Statistical Physics of Self- Replication,”Journal of Chemical Physics139, no. 12 (2013): 121923。

9.这一空想试验事实上并不准确——在冷冻时漩涡会凝固——不过多亏了我们的想象力，我们可以在大脑中完成这一实验。这一实验在此仅作为一个例子。

10.当然，此处记录水分子的位置的信息仍然存在，不过记录它们速度或是动量的信息则消失了。

11. 1944年，埃弗里–麦克劳德–麦卡蒂证明DNA携带遗传信息的实验和薛定谔的书同时出现。因此，薛定谔并不知道携带遗传信息的是DNA而非蛋白质。

12.这取决于规模大小。当热量的波动不足以改变固体的结构，我们就认为固体凝固了。室温下的建筑物与车辆便是如此。而蛋白质则处于有序与无序的边缘，因为热量的波动对于蛋白质的折叠至关重要，但在室温下的热量波动之下蛋白质的结构仍然稳定。

13.专业上这被称作分岔点。它出现在非线性系统之中。这种情况下，中间产物M或输出物O既需要输入物I也需要中间步骤M。

14.这是如下著作的中心思想之一：Stuart Kauffman,The Origins of Order: Self- Organization and Selection in Evolution(New York: Oxford University Press, 1993),这也是布尔网络模型的一个引申。

15.如需更详细的解释，请参考Prigogine and Stengers,Order Out of Chaos, and Ilya Prigogine and Isabelle Stengers,The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature(New York: Free Press, 1997)。

第四章 脱离想象

1.我为什么将其比作晶体？晶体是稳定有序排列的原子。当我们创造出物品，我们创造出了实体化或数字化的物体。这些有型而不易改变的物体是一个更为生动而无形的过程——想象——的印证。一旦一辆车被制造出来，它就变成了2015版并维持不变直到新款的出现。这本书也一样。以后版本中的修订将不会改变第1版中的信息内容。如此而言，我们创造出的物品是我们想象力的结晶，它们是我们思想的印证。

2.在经济学中，技术常被表述为一项生产活动的经济总产值（可以看作利润）与这一经济活动所需原材料的数量（数量常按原料的价格计算）之比。尽管这个定义在财经上十分有用，它却与技术人员口中的“技术”相去甚远。总而言之，技术学家用“技术”一词指代一份信息。这里的信息可以是实体化的（像芯片）也可以是数字化的（如软件图书馆），并且能带给我们解决问题的能力。技术不只是提升效率，它们也化不可能为可能，让我们做更多的事情。若采用经济学上传统的技术定义，我们会发现仅仅减少员工工资，而产值维持不变也被认为是技术的提升，因为在产值不变的情况下成本降低了。从技术学家的角度来看，这并不是技术的提高，因为这并不能突破我们现有的能力。

3.出口商品的当然是公司，而不是国家。但是因为一个国家的出口总量为大大小小公司出口量的总和，所以在这里为了简便,我讨论出口问题时就以国家为单位。

4.“Products That Chile Exports to South Korea (2012),”Observatory of Economic Complexity, MIT Media Lab, http: //atlas. media.mit.edu/explore/tree_map/hs/export/chl/kor/show/2012.

5.“Products That Chile Imports from South Korea (2012),”Observatory of Economic Complexity, MIT Media Lab, http: //atlas. media.mit.edu/explore/tree_map/hs/import/chl/kor/show/2012.

6.根据安格斯·麦迪森对于历史上的GDP的估算，1990年智利的人均GDP为2 194美元（按1990年不变美元计算），相对于当时西班牙为1 786美元，瑞典为2 083美元，芬兰为1 877美元。

7.“Products Exported by Chile (2012),”Observatory of Economic Complexity, MIT Media Lab, http: //atlas .media .mit .edu /oi5z2n.

8.对智利家庭人数的官方估计为2.9人。详见www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen2009/familia.php。

9. International Energy Agency,“Electricity/Heat in World in 2009,”www .iea .org /stats /electricitydata .asp ?COUNTRY _CODE =29.

10.尽管在那之前，石油一度被用作煤油灯的燃料。

11. Nikola Tesla,My Inventions(n.p.: Philovox, 2013).

12.这种观点认为人类在社会中所有的行为都是为了使效用最大化，但当这个理论和其经验验证结果——也就是显示性偏好原理——相比较时，在逻辑上是站不住脚的。简单来讲，如果分开考虑理论

（效用最大化）以及它的经验证（个人选择反映个人偏好），理解这一理论的循环论证性变得容易多了。如果我们假设个人效用总是最大化的，那么为了检验这个假设，我们需要做这样一个实验，其可能发生的实验结果中必须包含个人效用无法最大化的情况，以供我们观察研究。而显示性偏好并不能充当这个实验，因为显示性偏好假设个人总会做出能够最大化其偏好的决定，所以，它是被设计成实验对象没有选择不最大化效用余地的一个试验。综上，效用最大化和显示性偏好的观点不能证明个人行为总是基于自身利益或其他相关言论的。弗朗西斯·福山也同样指出了这一点。当提及效用最大化及经济学家对此观点的态度时，他写道："一些经济学家把效用的定义改写得更宽泛些，试图以此取巧地绕过这个问题，他们让'效用'一词不仅包含了'金钱上的快乐'，还包含了像是由于'做了正当的事'而感到'心灵上的快乐'，或是可以算进他人消费所得的快乐。经济学家认为，一个人可以通过自身的选择得知到底什么是有用的——正如概念名称所说的那样，'显示出来的偏好'。迫切废除奴隶制的废奴主义者和推算利率的投资银行家，这两者都可以被形容为在追求所谓的'效用'，唯一的不同是废奴主义者的效用在乎于心灵层面上。极端一点讲，'效用'就成了能概括所有出现的结果和偏好的一个华而不实的概念。但这种空洞的概念，把经济学的基本假设化简成了使任何解析经济的模型都失去其意义的断言——人们最大化他们意欲最大化的效用——这句话空洞而无病呻吟。"Francis Fukuyama, Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity (New York: Free Press, 1995), 19.

第五章 放大效应

1.这呼应了城市活动家简·雅各布斯的观点。当雅各布斯被问及贪婪和自身利益在经济中到底究竟有多重要时，她回答道："你其实遗漏了经济概念中最重要的东西。你无法凭空贪婪，除非有东西让你心生

贪欲。”简·雅各布斯关于经济学的本质的访谈视频，https://www.youtube .com /watch?v=UPNPpdBCqzU。

2. George Johnson,The Ten Most Beautiful Experiments(New York: Knopf, 2008), 76–86.

3.我自行补充了一下这个例子，因为维纳的书没有直接提到它，而它在书中还被用在了一个有些奇怪的冷战时期的政治理论中。Norbert Wiener, The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society (Boston: Houghton Mifflin, 1950).

第六章 属于个人化的时代

1.一个产业的重心在哪儿及其原因这两大问题，掀起了至少四个理论思潮：关于产业集群（industrial clusters）、新经济地理学（new economic geography，此为新古典主义的流派）、偏重于制度和文化的经济地理学和演化经济地理学（evolutionary economic geography）。也许有人会说，不同流派的思潮反映了学科间的捭阖，但我不想根据学科来分门别类，我想根据它们对经济优势、工业分化及工业在不同领域的专业化的情况给出的相对不同概念的方式来讲。

首先，我想谈谈强调个人角色的这个方法。这其中包括保罗·克鲁格曼、藤田昌久、安东尼·维纳布尔斯的新古典主义法。如克鲁格曼所说，新经济地理学是研究某些产业在某些地理位置蓬勃发展（聚集经济）原因的一个理论方法。新经济地理学的学科目的是开发出完全内生（endogenous）的一般均衡模型。这种模型很看重资金和资源之间的制约条件，而其中的供给、需求及人口都由模型内生地决定了。为了创建这种模型，新经济地理学运用了许多理论上的伎俩使这些模型更加有迹可循。这其中包括使用迪克西特和斯蒂格利兹的垄断竞争模

型[Avinash K. Dixit and Joseph E. Stiglitz, “Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity,”American Economic Review 67, no. 3(1977): 297–308]或者保罗·萨缪尔森的物流成本冰山说[Paul A. Samuelson, “The Transfer Problem and Transport Costs, II: Analysis of Effects of Trade Impediments,”Economic Journal 64, no. 254 (1954): 264–289]。然而，作为高度程式化的模型也限制了它们不易被经验验证。事实上，早期校正模型的过程中，就发现它们聚集的趋势比在真实经济中要强[见Paul Krugman, “What’s New About the New Economic Geography?,”Oxford Review of Economic Policy 14, no. 2 (1998): 7–17]，而且更多当代寻找依据的努力激发了很多讨论，而真正得出结论的却很少[见Stephen J. Redding, “The Empirics of the New Economic Geography,”Journal of Regional Science 50, no. 1 (2010): 297–311]。

另外一种方法，虽然也很注重个人，但有所不同于新经济地理学家所遵寻的方法，这是城市理论家理查德·佛罗里达的思想。佛罗里达强有力地表明城市凝聚的竞争很大程度上关键在于它们吸引有创造力的个人的能力[Richard Florida, The Rise of the Creative Class and How It’s Transforming Work, Leisure, Community, and Everyday Life (New York: Basic Books, 2002)]。

其他的方法，就不看重个人角色的分量，而看地域特性，或是该区域大小公司构成的网状特性。哈佛商学院教授迈克尔·波特的观点和这一思潮中侧重产业集群的分支很一致[见Michael E. Porter, On Competition (Boston: Harvard Business School Press, 2008)]。但是，这一思潮也可以追溯到——尽管在那时还是雏形——19世纪阿尔弗雷德·马歇尔有关工业地区的著作[例如Principles of Economics (London: Macmillan, 1890)]。波特依据需求条件、个体因素、策略和相关工业来讨论工业集群。对于最后一项，他强调地方价值链的重要性，某种程度上与阿尔弗雷德·马歇尔对于后相联系的作品相呼应[例如Albert O. Hirschman, “The Strategy of Economic Development,”in A. N. Agarwal

and S. P. Singh, eds., Accelerating Investment in Developing Economies (London: Oxford University Press, 1969)].

强调地区所占比重的方法，也囊括了经济地理学家提出的依据地区特征来区分的那些方法。这本书阐述的内容涵盖了基于不同地点尤其是基于不同社会及正式规章制度所致的产业集群不同。[见Francis Fukuyama, Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity (New York: Free Press, 1995); AnnaLee Saxenian, Regional Advantage (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1996); and Daron Acemoglu and James A. Robinson, Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty (New York: Crown Business, 2012)。]例如，通过分析当地文化（宗教、家庭情况等等）或当地明文规定来解释两个地区产业集群的组成结构和区别的讨论，将会依据社会或者正式的制度被分别列入理论种类中。最后，还有演化经济地理学思潮，这种思潮构建于一种知识是由公司或大小公司形成的关系网所积累起来的。这一思潮基于理查德·R·纳尔森及西德尼·温特所开创的“常”的观点（ideas of routines），[An Evolutionary Theory of Economic Change (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982)] 并且强调了知识会隐性地渗透到公司中、公司吸纳隐性的知识的能力，以上观点都是受到了熊彼特的观点启发而成的。[见Joseph A. Schumpeter, The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profi ts, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1934)]。博斯克马（Ron A. Boschma）和柯恩·弗兰肯（Koen Frenken）将演化经济地理学和其他研究方法在这篇文章中做了一个很好的对比，“Why Is Economic Geography Not an Evolutionary Science? Towards an Evolutionary Economic Geography,”Journal of Economic Geography 6, no. 3 (2006): 273–302.。

2.经济行为者在做出最终决定之前往往还有一个做决策的过程，但经济学中有一些根深蒂固的假设——现在看来，这些假设似乎有些

天真了——没有考虑到这一点。经济学家里卡多·豪斯曼和丹尼·罗德里克呼吁注意一个事实，即创业者需要自行确定在特定地点的生产成本，这种发现成本（discovery cost）是主流经济模式没有涵盖的（Ricardo Hausmann and Dani Rodrik,“Economic Development as Self-Discovery,”Journal of Development Economics72, no. 2 (2003): 603–633)。

3. Michael Polanyi,The Tacit Dimension (Garden City, NY: Doubleday, 1966), 4.

4. Walter Powell,“Neither Market nor Hierarchy,”Research in Organizational Behavior12 (1990): 295–336.若想更详细地了解隐性知识，可以参读Richard R. Nelson and Sidney G. Winter,An Evolutionary Theory of Economic Change (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982), ch. 4, sec. 2。

5.想读有关社会学习（social learning）的基本导论的话，可以参见Albert Bandura,Social Learning Theory (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1977), esp. 305–316。较新的一本用实践来展现社会学习的经验主义流行性和社会学习的优势的书，见Luke Rendell et al.，“Why Copy Others? Insights from the Social Learning Strategies Tournament,”Science 328, no. 5975 (2010): 208–213。

6.严格来讲，在学习资源或学习环境相同的情况下学习算不上社会学习的一种形式，而是基于学习背景的学习（contextbased learning）。

7.当然，人与人之间的认知能力还是会存在一些差异的，可以说有的人携带的人比要比其他人多。然而，最聪明的个人认知能力跟社会集体认知能力的总和相比还是小巫见大巫，在这样巨大的差异对比下，人与人之间的那一点点认知能力差就变得小得可以忽略了。因

此，为了理解牵扯到生产过程复杂的产品或是复杂的人际关系网的一些集体流程，以人比作为有效用的知识的基本单位就显得很方便了。

8.我想要强调一点，作为经济函数，人际关系网大量积累知识的能力跟我们研究社会关系网的经济关联性（economic relevance of social networks）时所提到的经济函数不是一回事。按照传统的说法，社交网络影响经济中信息传递（information transfer）、奖赏和惩罚的来源（sources of reward and punishment）以及信任库（repositories of trust）这几个渠道。正如社会学家马克·格兰诺维特解释所说："以社交关系网的形式为主的社会结构能对经济的结果有一定影响，主要是由于以下三个原因。第一，社会网络影响信息的流向和质量。因为许多信息是微妙而难以核实的，所以行为者一般都不相信非人际网提供的信息来源，而是依赖于他们所认识的人。第二，社会网络是一个重要的奖罚来源，因为当信息来自自己认识的人时，这些信息所能带来的影响往往会被放大。第三，信任，我说的信任是指，承认也相信别人会做'对'的事，即使社会上可能存在和所谓的'对'明显反向的激励。" [Mark Granovetter, "The Impact of Social Structure on Economic Outcomes,"Journal of Economic Perspective 19, no. 1 (2005): 33–50.]我在第八章中，回顾了更多讲社会网络及经济网络关系的文献。

9.我们之所以认为社会学习减缓了知识累积的节奏，是因为真正找到社会学习的机会很难而且花销很大。通常意义上来说，社会学习本身使其他类的学习事半功倍——换句话说，向专家学习，成效更快。而这里所讲的对社会学习的需求减缓了知识的累积，说的其实是个体找到想要获得每个特定知识的每个社会学习机会很难。

10.这是史蒂文·平克写的一本生动描述基因对人类行为的影响的好书：The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature (New York: Penguin, 2003)。

11.在近几十年中，研究基因政治领域的政治科学家和生物学家已经积累了大量政治偏好和基因的证据。这些研究结果大部分来自对同卵和异卵的双胞胎的研究数据，这些数据与其投票记录和政治面貌有一定的联系。当然，这是一个很有争议性的研究领域，一部分原因在于大多数人在心理上不认可基因对政治选择有影响，另一部分原因在于一些政治科学家坚称研究结果与实际情况不相关，即使它们之间确有联系。详见Larry Bartels,“Your Genes Influence Your Political Views. So What?,”Monkey Cage blog,Washington Post, November 12, 2013。关于基因政治的普适解释，我推荐John Hibbing,“Why Biology Belongs in the Study of Politics,”Monkey Cage blog,Washington Post, November 27, 2013。这是一篇讲政治观点与遗传学的学术论文，见John R. Alford, Carolyn L. Funk, and John R. Hibbing, “Are Political Orientations Genetically Transmitted?,”American Political Science Review 99, no. 2 (2005): 153–167; Carolyn L. Funk et al., “Genetic and Environmental Transmission of Political Orientations,”Political Psychology 34, no. 6 (2013): 805–819; Christian Kandler, Wiebke Bleidorn, and Rainer Riemann, “Left or Right? Sources of Political Orientation: The Roles of Genetic Factors, Cultural Transmission, Assortative Mating, and Personality,”Journal of Personality and Social Psychology 102, no. 3 (2012): 633。着重于遗传学和政治参与的论文，见James H. Fowler, Laura A. Baker, and Christopher T. Dawes, “Genetic Variation in Political Participation,”American Political Science Review 102, no. 2 (2008): 233–248; James H. Fowler and Christopher T. Dawes, “Two Genes Predict Voter Turnout,”Journal of Politics 70, no. 3 (2008): 579–594; James H. Fowler and Christopher T. Dawes, “In Defense of Genopolitics,”American Political Science Review 107, no. 2 (2013): 362–374。

12. Brett Stetka,“What Do Great Musicians Have in Common? DNA,”Scientific American, August 4, 2014.

13.个体间的遗传变异比群体间的要大得多，这一事实是避开种族主义者和优生学的主要论据。这一解释是在平克《白纸一张》（The Blank Slate）中提出的争论的中心。

14.推测人脑的知识和信息容量是一件很有意思的事情。完成曼哈顿工程时对计算机产生兴趣的匈牙利博学者约翰·冯·诺依曼参与了最先进行这一行动。关于这个主题的一些假设体现在他的书中：The Computer and the Brain (New Haven, CT: Yale University Press, 1958)。其中，诺依曼提到大脑的构造从根本上是与计算机完全不同的。计算机是由晶体管组成的，即用两个输入量产生一个输出量，而大脑是由神经元组成的，即可能用成千上万的输入量来产出一个单一的输出量。这些不同点是十分重要的，因为大脑频率，大概100赫兹，需要用一个考虑到输入量多样性的因数来衡量。

我们可以通过观察一个普通大脑中神经元和突触的数量为大脑容量做一个简单的粗略计算：大约10^{10}个神经元和10^{14}个突触（平均10 000突触一个神经元）。一个对于大脑信息容量天真的估计，是把每一个突触当成一个比特，产生一个100万亿字节的数字。一个更有野心但依然天真的估计，是把每一个存在的突触当成是1，每一个可能但不实体的突触当成是0。如果我们假设一个神经元的10 000个突触中每一个都从一组100 000个可能的突触中选择，那么大脑中的信息将大约为1 000太字节或者一拍字节。

第七章 有偿的联系

1. Greg Grandin,Fordlandia: The Rise and Fall of Henry Ford’s Forgotten Jungle City(New York: Metropolitan Books, 2009).

2.当然，一个人可以认为多数公司都是从小团队开始的，例如戴姆勒奔驰和苹果公司，并且因此事实上很少的人比参与了这些产品的生产。尽管一个早期的戴姆勒机车或者一个苹果一代产品是可以被一个很小的组织制作出来的，但对于后期更加复杂的模型来说是不可能的。随着公司规模增大并进入到更加复杂的产品时，它们积累了更多的产出性知识。所以，如果我们把2014款梅赛德斯300的创造及全球流通看作一个与制造一些自定义机动车有所不同的产品，那么我们需要接受，尽管它们看起来是属于同一类别的，这些更复杂的产品需要更多的人比。

3.公司之间的所有部门是它们积累知识的能力有限的结果，这一结论是十分天真的。大多数公司的规模是被其他更易理解的力量所限制的，最为显著的一点就是它们能够支付得起的人的数量。但是，就算是有无穷资金的公司也会在某一个点跳进一个有限的知识容量，这一点（与罗纳德·科斯对于公司的理论相符，我们会在本章后面的部分回顾）表现在内部做一个活动和从市场中雇用之间的价格不同中。

4. Ronald H. Coase,“The Nature of the Firm,”Economica 4, no. 16 (1937): 386–405. 我们也可以用这个当作起点： John R. Commons’“Institutional Economics,”American Economic Review21 (1931): 648–657。交易成本理论、制度经济学以及它年轻的无命名创意的兄弟——新制度经济学，研究经济代理人之间的关系、促使代理人互动的决定，及调节这些相互作用的合同和治理结构。对于此文献的介绍也出现在Howard A. Shelanski, and Peter G. Klein.“Empirical Research in Transaction Cost Economics: A Review and Assessment,”Journal of Law, Economics, and Organization11, no. 2 (1995): 335–361。

5.这个故事来源于Ronald Coase，“The Institutional Structure of Production,”American Economic Review 82, no. 4 (1992): 713–719。

6.对于那些不熟悉这个引用的人，它是“一切都应该尽可能简单，但不要更简单”。关于这个引用历史的细节，包括它是否真的是由爱因斯坦所声明的辩论，可在http: //quoteinvestigator.com /2011 /05 /13 /einstein-simple上找到。

7.考虑更简单的限制公司规模的理论也是合理的。例如，假设人们只要支付得起就雇用他人，一个招聘流程的关系视图会依据公司的收益限制它的规模。

8. Miyoung Kim,“Analysis: Friend and Foe; Samsung, Apple Won’t Want to Damage Parts Deal,”Reuters, August 27, 2012.

9. Walter Isaacson,Steve Jobs (New York: Simon and Schuster, 2011).

10.对那些好奇iPad游戏的人，除了在文章中提到的三个游戏外，我推荐《XCOM：未知敌人》、《文明帝国》、《模拟城市》、《火星漫步》、《细胞漫步》和《星球吞噬》。

11. Oliver Williamson,“Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations,”Journal of Law and Economics22, no. 2 (1979): 233–261.

12.他把这个标记为“投资特点”。

13.在1997年的一篇文章中，布莱恩·乌齐（Brian Uzzi）细致地研究了服装生产商和供应商关系的嵌入性。详见Brian Uzzi,“Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness,”Administrative Science Quarterly42, no. 1 (1997): 35–67。

14.“Free Exchange: Down Towns,”The Economist, August 15, 2013. 然而，大多数通信技术的改变是定性的。为了客观地估算花费上的改

变，我们需要知道一个19世纪末实业家会花多少钱在例如电子邮件或者一个简单的Skype通话这样的异步技术上。并且很有趣的一点是，就像詹姆斯·格雷克（James Gleick）在《信息：历史，理论，泛滥》（The Information: A History, a Theory, a Flood）(New York：Pantheon, 2011)中所优美描绘的那样，法国发明的电报机是基于用臂位置来传输信息的精巧的设计。这个机械的电报机在日期上比我们所最熟悉的，一提到这个词脑海中就会浮现出画面的电报机要早很久。

15. Coase,“The Institutional Structure of Production”强调了钱作为最基本但被忽略的财产的规范作用。

16. 目前，制造USB设备的标准执照要花费4 000美元一年(http: //www .usb .org /developers /vendor)。

17. 一些标准是地区性的，比如我们使用的电压和电源插座的形状，然而其他却出人意料地是全球性的，例如自行车轮胎的尺寸以及椅子和桌子的高度。网络是一个很好的建立在不断增长的整体标准之上的全球系统的例子，包括例如TCP/IP的协议以及CSS和HTML的网络标准。甚至与贸易及简化经济交易障碍的需求一起出现的金钱也是标准化技术的一个例子。弗里德里希·哈耶克在1945年的文章中极好地指出了这一点[“The Use of Knowledge in Society,”American Economic Review 35, no. 4 (1945): 519–530]。哈耶克认为金钱是帮助揭露经济不同部分的可用性及产品需求的信息的途径。

18. J. C. Scott,Seeing like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed(New Haven, CT: Yale University Press, 1998).

19. M. Pagel,“Human Language as a Culturally Transmitted Replicator,”Nature Reviews Genetics 10, no. 6 (2009): 405–415.

20. Ronen Shahar, Bruno Goncalves, Kevin Hu, Alessandro Vespignani, Steven Pinker, and César A. Hidalgo,“Links That Speak: The Global Language Network and Its Association to Global Fame,”Proceedings of the National Academy of Sciences, [10.1073/pnas.1410931111(2014)].

21. G. F. Davis,Managed by the Markets: How Finance Re-shaped America(New York: Oxford University Press, 2009).

22. L. P. Casalino et al.,“What Does It Cost Physician Practices to Interact with Health Insurance Plans?,”Health Affairs28, no. 4 (2009): w533–w543.

23. Henry J. Aaron,“The Costs of Health Care Administration in the United States and Canada: Questionable Answers to a Questionable Question,”New England Journal of Medicine 349, no. 8 (2003): 801–803; S. Woolhandler, T. Campbell, and D. U. Himmelstein,“Costs of Health Care Administration in the United States and Canada,”New England Journal of Medicine 349, no. 8 (2003): 768–775.

24. Woolhandler, Campbell, and Himmelstein,“Costs of Health Care Administration.”

25.也有财务激励来帮助促进这一解体作用。详见Davis,Managed by the Markets。

26. Benjamin Ginsberg,The Fall of the Faculty: The Rise of the All-Administrative University and Why It Matters(Oxford: Oxford University Press, 2011).

27. Woolhandler, Campbell, and Himmelstein,“Costs of Health Care Administration.”

第八章 我们所相信的联系

1.后者为一个例子，即如果你希望经济学家考虑到你的观点，你需要给世界上任何你想要包含在经济讨论里的方面冠以“资本”的姓。

2.然而，社交网络及信任的经济意义很难与经济的主流描述相一致。对于经济的传统（新古典）描述，有过分强调市场和正规机构的能力去塑造社会结构的趋势，并因此这些描述有促进人类社会化不足的观点的趋势。认为经济学家有社会理论的评论，与事实是完全相反的——社会学家有假定一个过度社会化的个体的倾向。令人意外的是，后者是因社会学家丹尼斯而出名的，他批判了由他的同事在20世纪60年代初提出的过度社会化的个体的观点；详见“The Oversocialized Conception of Man in Modern Sociology,”American Sociological Review26, no. 2 (1961): 183–193。然而，在这里，我会用到詹姆斯·科尔曼的对社会资本有重大影响的文章中对于两种批判的描述，“Social Capital in the Creation of Human Capital,”American Journal of Sociology94 (1988): S95–S120。

有两个广泛的智力流来描述和解释社会行为。一个是大多数社会学家的工作特点，认为行动者是社会化的并且行为是受社会规范、规则和义务管理的。这一智力流的主要优点在于它在社会背景下描述行为，以及通过社会背景来解释行为形成、受限和改变的方式的能力。

另一个智力流，是大多数经济学家的工作特点，把行动者看作有独自想要达到的目标，行为独立，完全以自我利益为中心。它主要的优点在于有一个行为原则，那就是效用最大化。这一行为原则和一个

简单的经验概括（边际效用递减），形成了新古典主义经济理论的广泛发展，以及多个种类的政治哲学的发展：功利主义、契约论、天赋人权……然而，这两个智力流都有严重的缺陷。社会学流派有一个理论上的致命缺点：行动者没有“行为动机”。行动者是由环境形成的，但是没有行为内在的活力来给行动者一个目的或者方向……

另一方面，经济学流派，所面对的是经验现实：人们的行为是由社会背景形成、改变、约束的；规范，人与人之间的信任，社交网络，以及社会组织不但对社会而且对经济的运行都是十分重要的。

但另一个社会理论和经济理论的摩擦点已经被经济学家尝试去发展模型，用以解释社会结构和体系是动态的或者进化的过程的结果，而在这一过程中社会干预的历史不充当任何角色。用马克·格兰诺维特的话来说：“新制度经济学思想的成员认为，曾被认为是由于立法、历史、社会或政治因素偶然导致的社会制度和机构，其实应当被看作为了特定经济问题而制订的解决方案。这种观念与20世纪40年代和60年代的结构功能社会学很类似。” [Mark Granovetter, “Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness,”American Journal of Sociology 91, no. 3 (1985): 481–510]. 弗朗西斯·福山也从类似的角度批评制度经济学：“大部分经济学家认为群体的形成并不是因为道德习惯，而是因为类似财产权、合同法等法律制度的建立而自然出现。”Francis Fukuyama, Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity (New York: Free Press, 1995).

3. Mark Granovetter, Getting a Job: A Study of Contacts and Careers(Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974).

4. Ibid.

5. Nelson D. Schwartz,“In Hiring, a Friend in Need Is a Prospect, Indeed,”New York Times, January 27, 2013.

6.在《独自打保龄球》这本关于社会资本的经典作品中，罗伯特·普特南强调了社交网络对劳动力市场和金融的经济重要性，这与格兰诺维特的发现相互呼应。他评论了一些例子："在洛杉矶，2/3的在过去5年中找过工作的白人和黑人女性，依靠在某个公司里的熟人而找到了她们最近或现在的工作。"在金融方面，他发现70%的使用债务融资而启动的企业家之中，"41%从家庭获得资金，24%从朋友处获得资金（相较于37%来自金融机构）"。Putnam,Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community(New York: Simon and Schuster, 2000), 320.

7. Granovetter,"Economic Action and Social Structure."

8. Fukuyama,Trust, 49.

9.普特南区分了结合型社会资本和桥接型社会资本。结合型社会资本发生于密切联系的关系网，人们互相交流，而利用桥接型社会资本人们可以接触到关系较远的人。（罗纳德·伯特的"结构洞"）。普特南是这么说的，"结合型社会资本构成一种社会学的强力胶，而桥接型社会资本提供了一个社会学WD-40（润滑油）"。Putnam,Bowling Alone, 23.

10. Coren L. Apicella et al.,"Social Networks and Cooperation in Hunter-Gatherers,"Nature481, no. 7382 (2012): 497–501.

11.同上。为了测试合作，他们使用了一种公共用品博弈的变化。这意味着，合作不是由自我报告，而是作为一个伪休闲活动进行评估，个人可以选择合作的行为或不合作的行为。

12. Fukuyama,Trust, 352.

13. Coleman,"Social Capital in the Creation of Human Capital."

14. AnnaLee Saxenian,“Inside-Out: Regional Networks and Industrial Adaptation in Silicon Valley and Route 128,”Cityscape, May 1996, 41–60.

15.更多关于适应性的讨论详见Walter Powell,“Neither Market nor Hierarchy: Network Forms of Organization,”in Michael J. Handel, ed.,The Sociology of Organizations: Classic, Contemporary, and Critical Readings(Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2003), 104–117。

16.正如社会学家沃尔特·鲍威尔指出，“网络……具备在偏重创新和定制产品的环境中的比较优势”。（同上）网络比等级更适宜，因为合作伙伴关系和联盟比内部发展的适应性更强[详见Michael E. Porter and Mark B. Fuller,“Coalitions and Global Strategy,”Competition in Global Industries1, no. 10 (1986): 315–343]，更因为他们更善于沟通信息，这对区域成员了解市场技术变化十分重要。

17. Schwartz,“In Hiring, a Friend in Need Is a Prospect, Indeed.”

18. Putnam,Bowling Alone, ch. 23.

19. Fukuyama,Trust, 351.同时值得注意的是，社会机构并不受地域局限，而往往随着移民而至少在异地延续几代人。就两位经济学家所发现，家庭关系的力量甚至在几代人之后都影响了家庭的大小、社会流动性和女性劳动力的参与。Alberto Alesina and Paola Giuliano,“The Power of the Family,”Journal of Economic Growth15, no. 2 (2010): 93–125.

20. Putnam,Bowling Alone, 345.

21. Fukuyama,Trust, 113.

22. Ibid., 62.

23. Barry Wellman et al.,“Does the Internet Increase, Decrease, or Supplement Social Capital? Social Networks, Participation, and Community Commitment,”American Behavioral Scientist 45, no. 3 (2001): 436–455.

第九章 经济复杂性的进化

1. 参见P. M. Visscher,“Sizing Up Human Height Variation,”Nature Genetics40, no. 5 (2008): 489–490; G. Lettre et al.,“Identifi cation of Ten Loci Associated with Height Highlights New Biological Pathways in Human Growth,”Nature Genetics 40, no. 5 (2008): 584–591。

2.我并不是假设完成产品所需要的知识只局限于一处。正如之前章节所讲到的，这些知识通常分布在全球企业网络中。包括中间产品的交易方便了企业之间的交流。所以，当我们观察到一个地方（比如一个国家，或是一个城市）生产汽车，我们并不能假设这里有除了组装汽车以外的技术，因为生产橡胶、提炼金属、加工引擎的技术完全可以位于别的地方。

3.关于生态嵌套性的文学作品十分广泛，研究存在与否矩阵来联系生物和栖息地，还有共生网络，比如花和花粉传播者。关于这一话题，如下文章给对此话题感兴趣的人开了一个头：W. Ulrich, M. Almeida-Neto, and N. J. Gotelli,“A Consumer’s Guide to Nestedness Analysis,”Oikos 118, no. 1 (2009): 3–17。

4.在这里我们认为如果一个国家出口某一产品至少占全球该产品人均出口额的25%，那么这个国家就是该产品的出口方。这方便我们控制产品全球市场的大小，以及国家人口的规模。

5.在洪都拉斯和阿根廷的例子中，重复性的可能性（学术上称为p值）是4.4×10^{-4}。同样的概率在洪都拉斯和荷兰之间是2×10^{-2}，在阿根廷和荷兰之间是4×10^{-3}。

6. César A. Hidalgo and Ricardo Hausmann,“The Building Blocks of Economic Complexity,”Proceedings of the National Academy of Sciences 106, no. 26 (2009): 10570–10575.

7.相关品种的想法在区域经济发展和战略管理的文献中很流行。比如，Koen Frenken, Frank Van Oort, and Thijs Verburg,“Related Variety, Unrelated Variety and Regional Economic Growth,”Regional Studies41, no. 5 (2007): 685–697; Ron Boschma and Simona Iammarino,“Related Variety, Trade Linkages, and Regional Growth in Italy,”Economic Geography 85, no. 3 (2009): 289–311。

8.严格说来，这是因为马和斑马比马和鳄鱼之间有更相近的祖先。

9.在较大的空间尺度上，托管和合作出口的数据还可以接受，但是在小尺度下并不有用，因为在小规模下需要考虑而不是限制供给来帮助托管。比如说，我们不会考虑把理发店和面包房放在一个社区的角落来当作企业应用相似性的证明。一个更简单的解释是，这些服务的对象是非常区域性的——人们不大会穿过一个镇只为了买面包或是理发。然而，出口企业服务更大的区域，因而面对更大的压力去寻找一个提供知识优势的位置。

10. C. A. Hidalgo, B. Klinger, A. L. Barabási, and R. Hausmann,“The Product Space Conditions the Development of Nations,”Science317, no. 5837 (2007): 482–487.

11.详见Dataviva.info。

12. F. Neffke, M. Henning, and R. Boschma,“How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions.”Economic Geography87, no. 3 (2011): 237–265; F. Neffke and M. Henning,“Skill Relatednessand Firm Diversification,”Strategic Management Journal 34, no. 3 (2013): 297–316; Frank Neffke and Martin Svensson Henning,“Revealed Relatedness: Mapping Industry Space,”Papers in Evolutionary Economic Geography 8 (2008): 19.

13.然而，这些不是仅有的。关于这个想法的数学模型也可以用来解释多样性、托管和相近性的分布[参考R. Hausmann and C. A. Hidalgo, “The Network Structure of Economic Output,”Journal of Economic Growth 16, 4 (2011): 309–342] 以及这些变量长期的动态变化（我正在和克里斯蒂安·菲格罗亚进行关于这个话题的研究）。

第十章 第六种物质

1.然而，物质资本的定义严格说来比机器更广泛，因为它是用来表示所有过去的生产。比如说，物质资本也可以指一个面粉厂的谷物储备。

2. Adam Smith,The Wealth of Nations(London: T. Nelson and Sons, 1887), 116.

3.同上。

4.库兹涅茨最初提出“GNP”（国民生产总值）这一概念，这是当时的官方指标。20世纪90年代，GDP（国内生产总值）代替GNP成为官方的指标。GDP考虑了一个国家内产品和服务的生产。GNP考虑的

是一个国家国民生产的产品和服务，无论这些产品是否在国家境内生产。

5. Simon Kuznets,“Modern Economic Growth: Findings and Reflections,”American Economic Review 63, no. 3 (1973): 247–258.

6.严格来说，全要素生产率是统计模型的残差或误差。经济学家常常把全要素生产率当作科技，虽然这是科技定义的变化语义。用经济学的话来说，科技是在同样费用下生产更多的能力。对于科技的发明者，科技是做全新事务的能力，其中经常包含一种新的能力的发展。举个例子，想想一台电脑和一个打字机。电脑并不比打字机更快，即使它加快了打文档的过程。因为电脑可以用来做打字机所做不到的事，比如说玩电子游戏、做三维建筑模型、连接3D打印机。然而，发明者常常更加狭隘地使用“科技”一词来定义特别的能力。比如，巨磁电阻（GMR）是用于读取硬盘的信息的技术，与之不同的是叠瓦氏磁记录（SMR），这种较新的方法可以读取硬盘驱动器的信息，并帮助提高硬盘驱动器的尺寸至几十太字节。

7.同样，我的意思是，他们是基于耦合常微分方程的数学概念。

8. Wassily Leontief,“Theoretical Assumptions and Non- observed Facts,”American Economic Review 61, no. 1 (1971): 1–7.

9. Michael Porter,On Competition (Boston: Harvard Business School Press, 2008), 188.其他呼吁避免合计的经济学家包括埃斯特·杜芙洛,阿比吉特·班纳吉。杜芙洛和班纳吉证明了生产力的不同足够大到认为综合生产是不合理的。Abhijit V.Banerjee and Esther Duflo, “Growth Theory Through the Lens of Development Economics,”inHandbook of Economic Growth, vol. 1, ed. Philippe Aghion, 473–552 (Amsterdam: Elsevier, 2005).罗伯特·卢卡斯（Robert Lucas）——诺贝尔奖获得者，认为“一个关于发展的成功理论包含的不仅仅是综合模型”。事实上，

和列昂季耶夫相同，卢卡斯认为这种分解必须包括经济中产品多样化的增加：“一个持续几十年的发展奇迹必须包含持续的新产品的引入，而不仅仅是特定一套产品的学习。”R. E. Lucas,“On the Mechanics of Economic Development,”Journal of Monetary Economics 22, no. 1 (1988): 3–42.

10. Paul M. Romer,“Endogenous Technological Change,”Journal of Political Economy98, no. 5 (1990): S71–S102.

11. N. G. Mankiw, D. Romer, and D. N. Weil,“A Contribution to the Empirics of Economic Growth,”Quarterly Journal of Economics107, no. 2 (1992): 407–437.

12.他们使用了1960~1985年中学里劳动年龄人口的平均比例。

13. A. W. Woolley, C. F. Chabris, A. Pentland, N. Hashmi, and T. W. Malone,“Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups,”Science29, vol. 330, no. 6004 (2010): 686–688, http://www.sciencemag.org/content/330/6004/686.

14. Ronald S. Burt,Brokerage and Closure: An Introduction to Social Capital(Oxford: Oxford University Press, 2005).

15.关于桥接型社会资本的著作，参见Ronald S. Burt,Structural Holes: The Social Structure of Competition(Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009); Ronald S. Burt,“The Contingent Value of Social Capital,”Administrative Science Quarterly 42, no. 2 (1997): 339–365; Ronald S. Burt,“Secondhand Brokerage: Evidence on the Importance of Local Structure for Managers, Bankers, and Analysts,”Academy of Management Journal 50, no. 1 (2007): 119–148; Alex Pentland,Social

Physics: How Good Ideas Spread: The Lessons from a New Science(New York: Penguin, 2014)。

16. John F. Heliwell and Robert D. Putnam,“Economic Growth and Social Capital in Italy,”Eastern Economic Journal 21, 3 (1995): 295–307; Stephen Knack and Philip Keefer,“Does Social Capital Have an Economic Payoff? A Cross-Country Investigation,”Quarterly Journal of Economics 112, no. 4 (1997): 1251–1288; Paul J. Zak and Stephen Knack,“Trust and Growth,”Economic Journal 111, no. 470 (2001): 295–321.

17.我在脸谱上发现这幅漫画被疯狂转发了很多次。遗憾的是，我没有办法找到它的出处来做出精确说明。

18.另外，它假设价格体现了人们的需求和商品供应的互动——供求关系使价格体现商品的价值。

19.列昂季耶夫投入了很大的精力来研究生产的投入–产出矩阵，连接了互相购买投入的产业。列昂季耶夫想要描述的不仅仅是我们通常在版面上看到的合计数字，比如GDP。他意在描述隐藏在表面之下的经济。

在进一步的行动之前，我们有必要透过国际数据的表层和模糊的例如“发展”的字眼。每一个经济体系——即使是欠发达国家——都有一个复杂的内在结构。它的表现由每一个组成部分的互相联系来决定，就像钟的指针是由内部小齿轮决定的那样。

列昂季耶夫很坚决地推行这一观点，他认为这和使用合计恰恰相反：

“国民生产总值”、“总输出”、“生产价值增加”、“个人消费”、“政府支出”、“出口”——这些国家账户上的条目描述了我们熟知的经济系

统的外在特征。最近几年，这个系统的学生和管理者面临了很多无法由这些合计条目解决的问题。要回答他们的问题，我们必须看隐藏在表层之下的这个系统内部。

为了更生动地表达他的想法，列昂季耶夫面临的挑战不仅是他的同事，更是当时仅有的科技。列昂季耶夫的观点涵盖了投入——产出矩阵，这样的计算对于20世纪五六十年代的电脑来说太过繁重。但是，早在1965年，他还是为美国提供了包含81个行业的矩阵。随着电脑变得更加强大，技术的局限减少，投入——产出矩阵并没有大幅度地进一步分解。如今每年都有的美国投入——产出矩阵包含69个产业，每5年美国给出一个把这些经济链接分解为388个类别的矩阵。在这个谷歌和人类基因组计划的时代，我们对于经济系统的指纹识别并不比列昂季耶夫在20世纪中叶所提出的更好。

20.关于这个方法的数学描述和它与数学模型及相关著作的关系，我推荐先看César A. Hidalgo and Ricardo Hausmann,“The Building Blocks of Economic Complexity,”Proceedings of the National Academy of Sciences106, no. 26 (2009): 10570–10575; C. A. Hidalgo, “The Dynamics of Economic Complexity and the Product Space over a 42-Year Period,”working paper 189, Center for International Development, Harvard University, 2009; Ricardo Hausmann and César A. Hidalgo, “The Network Structure of Economic Output,”Journal of Economic Growth 16, no. 4 (2011): 309–342; Ricardo Hausmann and César A. Hidalgo, The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity(Cambridge, MA: MIT Press, 2014)。

21.在经济著作中，薪资和价格的动态平衡被称为“平衡”。当平衡影响了整个市场，我们称之为“一般均衡”。当平衡影响了部分市场，我们称之为“部分均衡”。

22.关于深圳生态系统的描述，参见Joichi Ito,“Shenzen Trip Report: Visiting the World’s Manufacturing Ecosystem,”Pulse blog, LinkedIn, August 17, 2014, https: //www.linkedin.com/pulse/article/20140817060936-1391-shenzhen-trip-report-visiting-the- world-s-manufacturing-ecosystem。

第十一章 知识、技术和信息的联姻

1. Jared M. Diamond,Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies(New York: Random House, 1998).

2. Greg Grandin,Fordlandia: The Rise and Fall of Henry Ford’s Forgotten Jungle City(New York: Metropolitan Books, 2009).

第十二章 物理秩序的演变，从原子到经济体

1.如果你给这样的环境提供能量来启动并支持信息的发展，你也会提升它的温度。

译后记

本书分为5个部分，共12章。塞萨尔·伊达尔戈教授以独特视角诠释了信息与经济的紧密关联，很有启发性，令人捧书畅读。塞萨尔·伊达尔戈教授也很有人格魅力，平易近人。他在书末致谢部分分享了自己著书的前后经历，展现了严谨治学之外可爱的一面。

参与全书义务翻译的是美国加州大学洛杉矶分校翻译社团的19名学生。作为该校学生，我明白他们的学业不轻，所以我很感谢他们这段时间的互相合作与体谅。感谢和我一起翻译校对的另外两个主编：王云皓和王明铭。她们时常督促鼓励我，给予了我很多帮助，我很感动。还要感谢参与翻译的其他同学们：刘思琪，黄思琪，余嘉雯，李怡灵，朱纯一，马悦言，张小晰，高黛蘅，梁家恺，朱阅，刘慕之，王昀暄，韩晴和黄子瀛。最后感谢中信出版集团的蒋永军先生和丁川女士对我们年轻人的支持。

我自知翻译水平有限，便和社员们力求译文的信、达，但这一路也遇到许多困难。比如，英文原文中有这样一个词汇“personbyte”，表达了“一个人所能承载的最大知识量和技术量”的意思。这个词是在字典里是找不到的。大概教授也苦于找不到能表达他的意思最精准的现存单词，无奈之下将两个英文词汇“person”和“byte”组合起来，即“人——比特”，简称“人比”。同时衍生出来的词汇还有“公司比”（firmbyte），其意思为“公司所能承载的最大知识量和技术量”。似乎确实没有比“人比”、“公司比”更合适的词汇了。信达之余，若要做到雅，真需要一点点运气，但愿我们的运气不要太差。如翻译有不合适的地方，还望大家能够指出。在此衷心希望读者在阅读译文时，能够感受到原文的魅力，走进塞萨尔·伊达尔戈教授向我们展现的极精彩的世界。

邬蕊鹂

美国加州大学洛杉矶分校翻译社团2014级